

# **CAPÍTULO I**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Introducción:**

El agua es un recurso vital sin importar dónde vivamos en el mundo, siendo indispensable para la alimentación humana también un producto primario importante para la producción industrial y agrícola. Por lo tanto, la disponibilidad de agua dulce se relaciona directamente con el bienestar y la prosperidad de nuestra sociedad.

Sin embargo, el agua dulce es un recurso limitado y a veces incluso escaso. Los rápidos cambios mundiales, como el crecimiento demográfico, el desarrollo económico, la migración y la urbanización están poniendo nuevas presiones sobre los recursos de agua y sobre la infraestructura que suministra agua potable a los ciudadanos, las empresas, las industrias y las instituciones. Sin embargo, las barreras políticas, financieras y/o técnicas pueden impedir una distribución igual del agua, incluso en regiones en donde la presencia física del agua es suficiente. Este efecto, que se conoce como escasez económica afecta a un gran número de regiones en el mundo.

Tarija es una región diversa por la variedad de recursos, flora y fauna que posee, lastimosamente por el cambio climático que ha sufrido se encuentra en una situación conflictiva por el recurso agua, aunque en diferentes partes del país existe abundancia de este recurso.

Es por esto que urge la necesidad de mantener los recursos hídricos con un equilibrio dentro de la inversión económica. Enfrentándonos a decisiones difíciles sobre el tipo de infraestructuras y los materiales a utilizar para poder evitar las pérdidas que se dan en las distintas obras hidráulicas.

Entre la captación y la planta de potabilización del agua, como entre ésta y la red de distribución urbana, suele darse la necesidad de conducir ya sea el agua entre fuentes de suministro y los consumidores. El trazo y el tipo de conducción, en sus efectos sobre los suelos el agua y sus propiedades, como así también factores ambientales que deben ser convenientemente valorados en la etapa de diseño y la etapa de mantenimiento.

Aducción es aquel componente a través del cual se transporta agua cruda ya sea aflujo libre o a presión y conducción es el componente a través del cual se transporta agua tratada para su distribución a la población.

### **1.2. Problema de investigación:**

La deficiencia en el transporte de aducción de agua potable.

### **1.3. Planteamiento del problema:**

La enorme cantidad de agua perdida por fugas en la aducción y las redes de distribución de agua (pérdidas físicas o reales de agua) y los volúmenes de agua distribuidos sin facturación (pérdidas de agua aparentes) pueden ser los elementos que complican la situación de suministro de agua, especialmente en nuestra región en desarrollo y en transición. Las pérdidas de agua reales y aparentes, junto con el consumo autorizado no facturado (por ejemplo, para abastecer a usuarios que no aportan una facturación por el consumo), constituyen la cantidad de agua no facturada (ANF) en un sistema de suministro.

El tipo de pérdida más común en el canal en estudio son las pérdidas de agua aparentes y reales, esto se da por que las los comunarios que tienen viviendas aledañas al canal al no tener un sistema de agua potable utilizan el agua del canal para el consumo humano y también para sus animales y cultivos; y así generando una pérdida de agua entre el vertedero de entrada en el Rincón de la Victoria, hasta el vertedero de salida en el desarenador en Tabladita.

A pesar de la información que salta a la vista es necesario hacer un análisis más profundo para determinar el porcentaje que tiene cada una de los tipos de pérdidas para tomar medidas sobre este canal que es de vital importancia para el abastecimiento del agua de la ciudad de Tarija.

### **1.4. Formulación del problema:**

¿Cuál es la eficiencia en el transporte del agua potable en el canal de aducción y cómo identificar el porcentaje de los tipos de pérdidas de agua que ocurren en el trayecto del canal de aducción?

## **1.5. Sistematización del problema:**

- ✓ ¿Cuál es la eficiencia en el transporte del agua en el sistema de aducción y qué medidas se podrían realizar para mejorar esta situación?
- ✓ ¿En qué tramos o sectores del sistema se genera mayor pérdida de agua?
- ✓ ¿Cómo se distribuyen las pérdidas aparentes en el canal de aducción?
- ✓ ¿Cuál es el costo económico de las pérdidas de agua que se generan en el sistema de conducción?

## **1.6. Objetivos del proyecto:**

### **1.6.1.Objetivo general:**

- Realizar un análisis técnico de los tipos de pérdidas que se generan en el canal de aducción desde el “vertedero de entrada en el Rincón de la Victoria hasta el vertedero de salida en el desarenador en el barrio Tabladita”.

### **1.6.2.Objetivos específicos:**

- Exponer las cualidades técnicas y los principales fundamentos teóricos relacionados a las pérdidas en un canal.
- Cuantificar y determinar cuánta agua se pierde en el trayecto y los porcentajes por cada tipo de pérdidas que se dan en los casi 13 km del trayecto.
- Describir y analizar los distintos tipos de pérdidas que se registran en el canal de aducción para poder determinar cuál es el que tiene un mayor porcentaje de pérdidas.
- Brindar una serie de recomendaciones técnicas que minimicen las pérdidas y los conceptos que deben ser tomados en cuenta, para poder lograr una decisión correcta a la vez económica, del mantenimiento del canal y que, además, asegure la eficiencia del canal.

## **1.7. Hipótesis**

### **1.7.1.Hipótesis de la Investigación de Primer Grado:**

La eficiencia de Conducción del sistema de aducción por gravedad es baja, debido a pérdidas ocasionadas por usuarios y desgaste del sistema.

### **1.7.2.Hipótesis de la Investigación de Segundo Grado:**

El caudal de entrada es igual al caudal de salida, más la sumatoria de las pérdidas generadas en todo el trayecto del sistema de aducción.

### **1.7.3.Hipótesis de la Investigación de Segundo Grado:**

$$Q_E = Q_S + P_R + P_A + P_E$$

Donde:

$Q_E$ = Caudal de Entrada (l/s)

$Q_S$ = Caudal de Salida (l/s)

$P_R$ = Pérdidas Reales (l/s)

$P_A$ = Pérdidas Aparentes (l/s)

$P_E$ = Pérdidas por Evaporación (l/s)

### **1.7.4.Variables**

El estudio consideró las siguientes variables:

#### **1.7.5.Variable Independiente:**

Conjunto de caudales de ingreso en el tramo en estudio.

Conjunto de caudales de salida en el tramo en estudio.

Conjunto de caudales por usuarios canal en estudio.

#### **1.7.6.Variable Dependiente:**

Eficiencia de Conducción de 12,4 Km. del canal: Se analiza la pérdida de agua en el tramo en estudio.

Pérdidas reales en el sistema de aducción.

### **1.8. Justificación del proyecto:**

Las razones por las cuales se realiza el estudio de este proyecto son:

### **1.8.1. Justificación académica:**

Profundizar conocimientos adquiridos en el área de la ingeniería sanitaria e hidráulica a flujo libre y aplicarlo en la evaluación de la eficiencia en canales, y mediante este proyecto optar la licenciatura en Ingeniería Civil.

### **1.8.2. Justificación técnica:**

La metodología que se usará para el diseño de este proyecto estará basada en lo establecido en la “guía para reducción de pérdidas de la GIZ” y se tomará algunas recomendaciones de libros o experiencia de profesionales expertos en diseño y mantenimiento en distribución de agua potable en canales.

### **1.8.3. Justificación social:**

Con los ajustes y/o adiciones que se propongan en el diseño del canal de aducción se pretende mejorar la eficiencia de funcionamiento del mismo, dando así un mejor servicio a la población para aumentar determinado caudal y mejorar la eficiencia del canal tanto en época de estiaje como en la época de lluvias.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

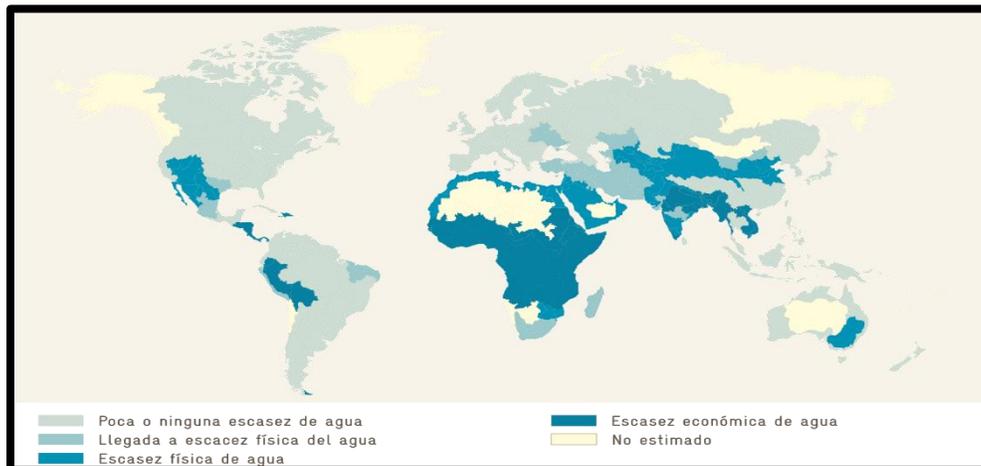
#### 2.1. Pérdidas de agua

El agua es un recurso vital sin importar dónde vivamos en el mundo, siendo indispensable para la alimentación humana, también un producto primario importante para la producción industrial y agrícola. Por lo tanto, la disponibilidad de agua dulce se relaciona directamente con el bienestar y la prosperidad de nuestra sociedad.

Sin embargo, el agua dulce es un recurso limitado incluso escaso. Los rápidos cambios mundiales, como: el crecimiento demográfico, el desarrollo económico, la migración y la urbanización están poniendo nuevas presiones sobre los recursos de agua también sobre la infraestructura que suministra agua potable a los ciudadanos, las empresas, las industrias y las instituciones.

Sin embargo, las barreras políticas, financieras y/o técnicas pueden impedir una distribución igual del agua, incluso en regiones donde la presencia física del agua es suficiente. Este efecto, que se conoce como escasez económica afecta a un gran número de países, especialmente en el África Subsahariana, el Medio Oriente y el Sur de Asia, pero también América del Sur y Central.

Figura 2-1: Distribución global de la escasez física y económica del agua



Fuente: Guía de Reducción de pérdidas de la GIZ.

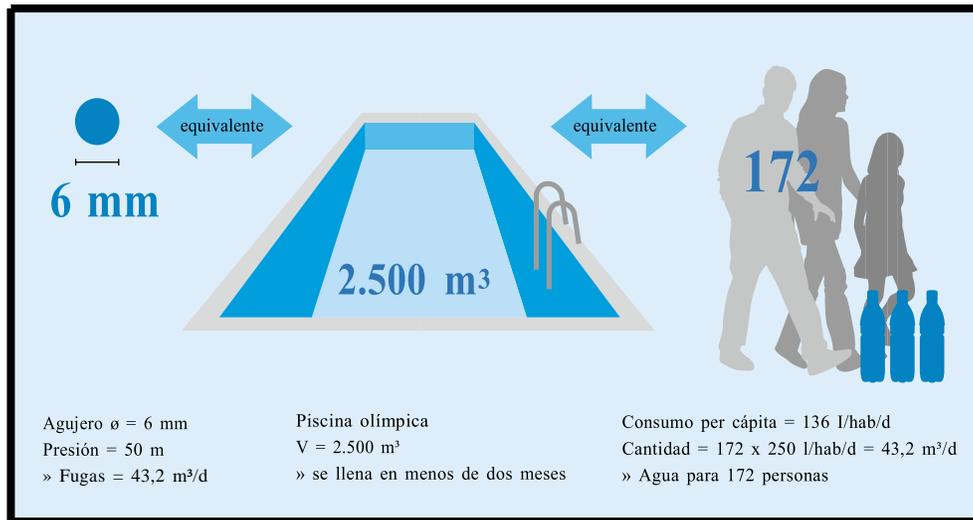
La enorme cantidad de agua perdida por fugas en las redes de distribución urbana de agua (pérdidas físicas o reales de agua) y los volúmenes de agua distribuidos sin facturación (pérdidas de agua aparentes) pueden ser los elementos que complican la situación de suministro de agua, especialmente en los países en desarrollo y en transición. Las pérdidas de agua reales y aparentes, junto con el consumo autorizado no facturado (por ejemplo, para abastecer las troncales anti incendios), constituyen la cantidad de agua no facturada (ANF) en un sistema de suministro.

La recuperación de parte del agua perdida a través de las medidas de reducción de pérdidas de agua representa a menudo una alternativa económica a explotar nuevos recursos a través de medidas de gran costo, como nuevas represas, pozos profundos o desalinización del agua de mar.

Incluso usando una cifra más conservadora que pone el nivel promedio de pérdidas de agua en 35% del insumo del sistema, el Banco Mundial estima que el volumen anual de ANF en los países en desarrollo está en el rango de 26,7 mil millones de m<sup>3</sup>, lo cual representa aproximadamente USD 5,9 mil millones que pierden las empresas de agua cada año. La reducción de esta cantidad de pérdida de agua a la mitad generaría ganancias considerables y suficiente agua para suministrar agua a 90 millones de personas más en los países en desarrollo.

Estas cifras son asombrosas, pero puede ser difícil entenderlas debido a su enorme tamaño. Por lo tanto, es útil mirar más de cerca el problema en una escala más pequeña: las pruebas de descarga por fuga muestran que la pérdida de agua de un agujero circular único con 6 mm de diámetro en una tubería de distribución a una presión de 60 m resulta en 1,8 m<sup>3</sup> por hora o 1.300 m<sup>3</sup> al mes. Este caudal sería suficiente para llenar una piscina olímpica (50 x 25 x 2 = 2.500 m<sup>3</sup>) en menos de dos meses. El mismo caudal de agua teóricamente sería suficiente para atender a 172 habitantes en la ciudad de Tarija - Bolivia.

Figura 2-2: La tasa del flujo de fuga de un único agujero de 6 mm



Fuente: Guía de Reducción de pérdidas de la GIZ

Se debe recordar que estas enormes cantidades pérdidas se deben a un pequeño agujero. Considerando cuántos de estos huecos puede tener una gran red de distribución de agua, resulta claro que tomar acción contra las pérdidas de agua es crucial. No solamente es esencial por razones éticas para suministrar agua potable segura a más gente y para reducir la expansión de enfermedades provenientes del agua, sino que también mitigaría problemas ambientales y aliviaría la presión sobre fuentes de agua escasas. Más aún, esta acción ahorraría energía para el tratamiento del agua y el bombeo. Por último, la reducción de pérdidas de agua incrementará los ingresos generados por los servicios públicos de agua privados o municipales, y mejorará la prosperidad de los clientes comerciales y domésticos.

En cuanto a operar sistemas de suministro de agua, las pérdidas de agua son un claro obstáculo a la sostenibilidad, como lo muestra la siguiente lista de impactos potenciales:

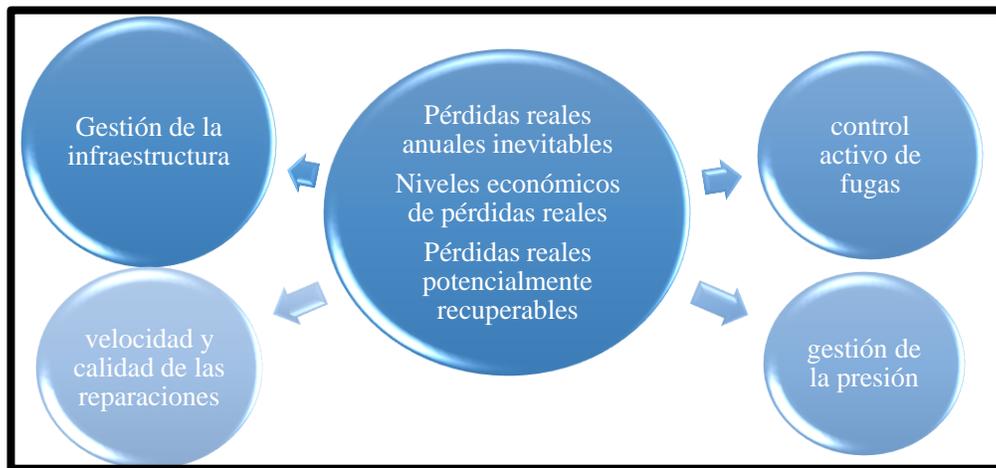
- **Impactos económicos:** Costos de explotar, tratar y transportar agua perdida en su camino al cliente sin generar ningún ingreso para la empresa de agua. Los estallidos de tuberías o colapso del sistema de aducción por gravedad y las fugas necesitan obras de reparación caras y también pueden causar daños considerables a la infraestructura adyacente.

- **Impactos técnicos:** Las fugas llevan a una cobertura reducida de la demanda existente de agua, posiblemente tanto que el sistema ya no pueda operar continuamente. El suministro intermitente causará problemas técnicos adicionales debido a que los clientes penetran la red de distribución y/o el sistema de adicción desde afuera e instalan tanques de almacenamiento privados.
- **Impactos sociales:** Las pérdidas de agua resultan en una afectación adversa a los clientes por fallas en el suministro, como presión baja, interrupciones del servicio y suministro desigual, pero también por riesgos a la salud que pueden surgir de la infiltración de aguas residuales y otros contaminantes en los sistemas de tuberías con baja presión o suministro intermitente.
- **Impactos ecológicos:** La compensación de las pérdidas de agua aumentando cada vez más la extracción de agua pone una presión adicional sobre los recursos de agua y requiere energía adicional, causando de este modo emisiones de dióxido de carbono que se podrían haber evitado.

Estos pocos ejemplos demuestran de manera impresionante que la pérdida de agua perjudica todos los aspectos de operar un sistema de suministro de agua sosteniblemente. Las empresas de agua en todo el mundo deberían por lo tanto esforzarse por analizar, cuantificar, combatir y reducir las pérdidas físicas y aparentes de agua en sus sistemas de suministro de agua. Una reducción exitosa y sostenible en las pérdidas de agua requiere un marco político y financiero que aliente las actividades de reducción de pérdidas de agua por medio de regulaciones vinculantes, incentivos, comparaciones y fijación de metas de reducción de fugas.

A lo largo de las dos décadas pasadas, se ha desarrollado muchos métodos que hoy en día se reconocen como tecnologías de última generación para reducir las pérdidas de agua. Por esto existen 4 métodos centrales de intervención para combatir pérdidas reales del agua, estos son:

Figura 2-3: Los cuatro métodos de intervención centrales para combatir las pérdidas



Fuente: Elaboración Propia

Hay muchos factores diferentes que influyen en la ocurrencia y tamaño de las pérdidas reales en una red de distribución de agua. Antes de decidir qué métodos de intervención son apropiados, una empresa de agua tiene que comprender entonces qué factores se atribuyen a las pérdidas reales en su sistema particular. Un método único o una combinación de distintos métodos constituirán el instrumento más eficiente y económico para la reducción de las pérdidas de agua dependiendo de la situación local.

### 2.1.1. Tipos de pérdidas

Establecer un balance hídrico a intervalos regulares proporciona la base para eliminar las pérdidas de agua. En el pasado se utilizó una gran variedad de formatos y definiciones para estos cálculos. La Asociación Internacional del Agua (IWA, por sus siglas en inglés) formó un grupo de trabajo sobre indicadores de desempeño y pérdidas de agua para lograr cifras internacionalmente comparables. En el año 2000 se publicó un documento sobre las mejores prácticas internacionales para calcular los balances hídricos. Un número de países y empresas de agua que se incrementa continuamente en todo el mundo ha reconocido y adaptado desde entonces este balance hídrico. Se aconseja a las empresas de agua seguir la terminología de la IWA, particularmente respecto de las comparaciones nacionales e internacionales.

Tabla 2-1: Terminología estándar para el balance hídrico de acuerdo a la IWA

<b>Volumen de entrada al sistema <math>Q_I</math></b>	Consumo autorizado $Q_A$	Consumo autorizado facturado $Q_{AF}$	Agua facturada exportada	Agua facturada
			Consumo facturado medido	
			Consumo facturado no medido	
		Consumo autorizado no facturado $Q_{ANF}$	Consumo no facturado medido	Agua no facturada
			Consumo no facturado no medido	
			Consumo no autorizado	
	Pérdidas de agua $Q_P$	Pérdidas aparentes $Q_{PA}$	Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
			Fugas en las tuberías de aducción y distribución	
		Pérdidas reales $Q_{PR}$	Fugas y reboses en tanques de almacenamiento	
			Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente	

Fuente: Guía de Reducción de pérdidas de la GIZ

Los elementos del balance hídrico se definen de la manera siguiente:

- **Volumen de ingreso al sistema:** el ingreso al sistema medido a una parte definida del sistema de suministro de agua. En sistemas con exportaciones sustanciales de agua es importante determinar el volumen de agua suministrada (volumen de ingreso al sistema menos agua exportada facturada).
- **Consumo autorizado:** el volumen de agua medida y/o no medida tomada por los clientes registrados, la empresa de agua y otras partes autorizadas. Incluye el consumo autorizado facturado (como el consumo medido facturado, el consumo no medido facturado y el agua exportada) (así como el consumo autorizado no facturado como consumo medido no facturado y consumo no medido no facturado). Esta parte del balance hídrico también comprende fugas y reboses luego del punto de medición del cliente, así como los propios requisitos de la empresa de agua, por ejemplo, para lavar tuberías o lavar los filtros.

- **Agua facturada (correspondiente al consumo autorizado facturado):** el volumen de agua que se entrega y se factura al cliente exitosamente, el cual genera entonces ingreso para la empresa de agua.
- **Agua no facturada (ANF):** el volumen que permanece no facturado y por lo tanto no genera ningún ingreso para la empresa de agua. Se puede expresar como la diferencia de volumen de ingreso al sistema y el consumo autorizado facturado o como la suma de consumo autorizado no facturado y las pérdidas de agua. En la tabla anterior se resaltan todos los elementos que contribuyen a la ANF.
- **Pérdidas de agua:** el volumen de agua perdida entre el punto de suministro y el medidor del cliente debido a varias razones. Se puede expresar como la diferencia entre el volumen de ingreso al sistema y el consumo autorizado y consiste de pérdidas aparentes y reales. Las pérdidas aparentes se pueden subdividir en consumo no autorizado, inexactitudes de medición y errores de manejo de datos. Las pérdidas reales se constituyen de fugas desde tuberías de transmisión y distribución, fugas desde conexiones de servicio y fugas desde tanques de almacenamiento.

Las pérdidas de agua ocurren en toda red de distribución de agua (RDA) en cualquier parte del mundo. Por razones económicas y técnicas se tiene que aceptar que las pérdidas reales de agua no pueden eliminarse por completo. No obstante, ha habido un gran incremento en el conocimiento y desarrollo de equipo de última generación, lo que nos permite manejar las pérdidas de agua dentro de límites económicos. De acuerdo con el Manual de manejo de fugas de la OMS (2001), hay cuatro factores clave que influyen el grado de fugas dentro de la red de tuberías de una empresa de agua.

Figura 2-4: Factores clave que influyen las fugas, según la OMS



Fuente: Guía de Reducción de pérdidas de la GIZ

La reducción de pérdidas de agua requiere un enfoque integral: una mayor actividad de detección de fugas por sí sola no resolverá el problema si las condiciones de infraestructura se deterioran al mismo tiempo. Además, incluso si se dispone de recursos financieros, no tendrán un efecto positivo salvo que la empresa de agua tenga estructuras adecuadas y tome un enfoque proactivo hacia el manejo de las pérdidas de agua.

## 2.2. Pérdidas reales

### 2.2.1. Clasificación

Las pérdidas reales son volúmenes de agua perdidos dentro de un determinado periodo a través de todo tipo de fugas, estallidos y reboses. Las pérdidas reales se pueden clasificar de acuerdo a:

- su ubicación dentro del sistema
- su tamaño y al tiempo durante el cual fugan.

### 2.2.1.1.Ubicación

- a) **Fuga desde las troncales de Conducción y distribución**, puede ocurrir en el sistema de aducción canal o tubería (grietas por falta de mantenimiento) tuberías (estallidos debido a causas foráneas o a corrosión), uniones (desconexión, empaquetaduras dañadas) y válvulas (falla operativa o de mantenimiento) y usualmente tiene tasas de flujo medianas a altas y tiempos de fuga de cortos a medianos.
  
- b) **Fuga desde conexiones de servicio** hasta el punto del medidor del cliente. A veces nos referimos a las conexiones de servicios como los puntos débiles de las redes de suministro de agua porque sus uniones y accesorios exhiben tasas de falla altas. Las fugas en las conexiones de servicio son difíciles de detectar debido a sus tasas de flujo comparativamente bajas y por lo tanto tienen tiempos de fuga largos.
  
- c) **Fuga y reboses de tanques de almacenamiento**. Estas están causadas por controles del nivel que son deficientes o están dañados. Además, puede ocurrir filtración de las paredes de concreto o de la construcción que no son herméticas. A menudo se subestiman las pérdidas de agua desde tanques y aunque son fáciles de detectar, la reparación a menudo es complicada y cara.

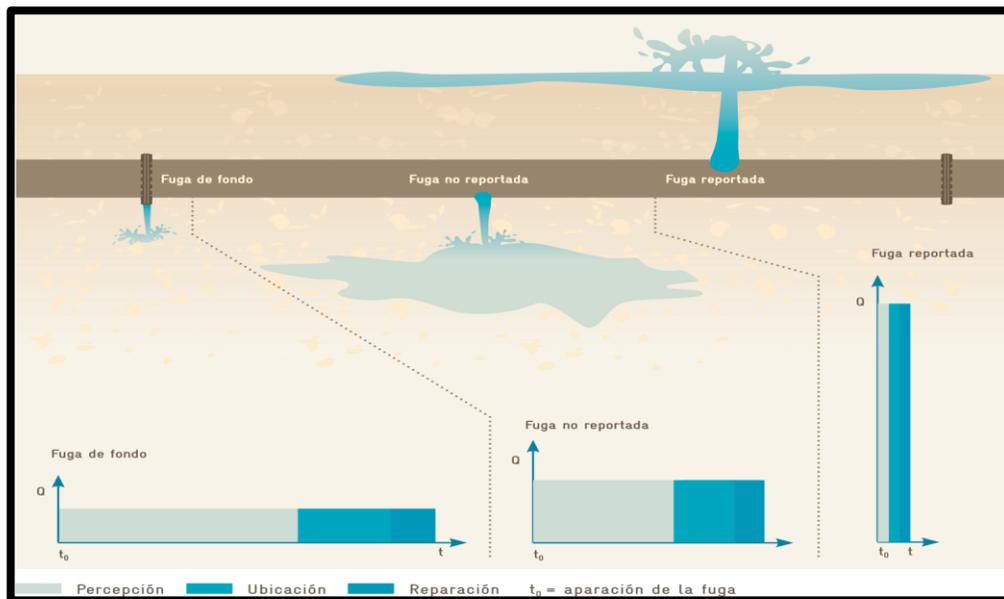
### 2.2.2.Tamaño y tiempo de la fuga

- a) **Las fugas reportadas o visibles** provienen principalmente de estallidos súbitos o rupturas de uniones en grandes troncales o tuberías de distribución. El agua que fuga aparecerá en la superficie rápidamente dependiendo de la presión del agua y el tamaño de la fuga, así como de las características del suelo y la superficie. No se requiere equipo especial para ubicar las fugas.
  
- b) **Fugas no reportadas u ocultas**. Estas por definición tienen caudales mayores a 250 l/h a 50 m de presión en tuberías; estas también se pueden dar en la base del canal colector, pero debido a las condiciones no favorables no aparecen en la superficie. La presencia de fugas ocultas se puede identificar analizando tendencias en el

comportamiento del consumo de agua dentro de una zona definida de suministro de agua. Existe una amplia gama de instrumentos acústicos y no acústicos para detectar las fugas no reportadas.

- c) **Fugas de fondo.** Comprende pérdidas de agua con caudales menores. Estas fugas muy pequeñas (filtración o goteo de uniones, válvulas o accesorios no herméticos) no se pueden detectar utilizando métodos de detección acústicos de fugas. Por lo tanto, se asume que muchas fugas de fondo nunca se detectan ni reparan, sino que fugan hasta que se reemplaza eventualmente la parte defectuosa. Las fugas de fondo a menudo causan una buena parte de las pérdidas reales de agua debido a su gran número y el largo tiempo durante el que ocurren.

Figura 2-5: Relación entre tasa de fuga (Q) y tiempo de fuga (t).



Fuente: Guía de Reducción de pérdidas de la GIZ

### 2.2.3. Causas de las pérdidas reales

Tanto las estructuras, los tubos y los accesorios de distintas dimensiones, material y edad se instalan total o semi enterrados donde están sujetos a una multiplicidad de factores que no se pueden registrar y controlar regularmente.

Adicionalmente, se puntualizan cuatro factores específicos al sistema que son clave para las pérdidas reales de agua, es decir, la longitud de las troncales, el número de conexiones de

servicio, la ubicación del medidor del cliente y la presión operativa promedio en el sistema (cuando el sistema está presurizado). Estos factores varían de un sistema a otro.

La multitud de interacciones activas y pasivas entre los tubos y su entorno lleva frecuentemente a daños y fugas. En términos simples, los activos de las redes de distribución de agua comprenden: tuberías y uniones, válvulas y accesorios, tanques de almacenamiento y bombas. Las causas y factores que influyen las pérdidas de agua por lo tanto se pueden clasificar de acuerdo al tipo de activo.

#### **2.2.4. Colectores y Uniones Defectuosos**

- a) **Material:** Aparte de las fallas del material causadas durante la fabricación (insuficiente espesor de pared, ausencia de protección contra la corrosión en los tubos de acero, mal revestimiento de refuerzo en los tubos y canales colectores de concreto), el daño también se causa debido al uso inapropiado de ciertos materiales: el agua blanda (especialmente agua no tratada de las represas) con mucho ácido carbónico (CO<sub>2</sub>) y las bajas concentraciones de calcio o las altas concentraciones de sulfatos afectan agresivamente el concreto. Los tubos de concreto armado y/o canales, así como el revestimiento de mortero de cemento interno y externo en los tubos de fierro forjado quedan afectados.
  
- b) **Condición:** Todos los equipos metálicos están expuestos a la corrosión física y electroquímica. La corrosión reducirá el espesor de la pared y reducirá la capacidad que tiene el tubo de soportar presión de agua y esfuerzo externo. Las causas más comunes de corrosión son el agua y la tierra agresivas, así como las corrientes desviadas.
  
- c) **Edad:** Muchos factores que influyen las fugas dependen de la edad. Consecuentemente, la edad de una sección de tubo y/o canal puede aparecer como el factor más significativo para las fugas. No obstante, la edad no es necesariamente un factor si se ha diseñado e instalado cuidadosamente el tubo y si se realiza mantenimiento a intervalos regulares y las condiciones externas son favorables.

### 2.2.5. Diseño e instalación /calidad de la mano de obra

- a) **Diseño:** Los errores durante la fase de planeamiento pueden influenciar las fugas de los tubos como son los casos de mala elección de materiales, dimensionamiento insuficiente para la presión real, medidas de protección inadecuadas contra la corrosión o alineamiento incorrecto, una mala dosificación para colectores de concreto (canales) pueden ocasionar una vida útil menor y que se encuentren expuestos a degradación y falla del concreto.
  
- b) **Almacenamiento y tendido de tuberías:** El almacenamiento inadecuado puede dañar las tuberías incluso antes de su instalación. Las raíces del pasto pueden penetrar el revestimiento bituminoso de los tubos de acero. El arrastrar tubos de PVC sobre superficies de concreto o piedras causará biselados que son más susceptibles a las fugas futuras. La larga exposición a la luz del sol hace que los tubos de PVC se vuelvan quebradizos. La maquinaria pesada que se utiliza para el transporte y la instalación también puede causar daños.
  
- c) **Lecho:** La selección de material inapropiado para tender la tubería en un lecho es una causa frecuente de daño: si el material del lecho es áspero o rocoso puede malograr los revestimientos externos de tubos de acero o fierro forjado y causar corrosión. Pueden aparecer rajaduras longitudinales y en espiral en tubos de FG y PVC como resultado de un material pedregoso en los lechos. Puede causarse hundimiento si no se rellena y compacta de manera suficiente la zanja para el tubo. Estos movimientos de suelo no controlados; también pueden desencadenar desconexión de los encajes o rupturas de tubos.
  
- d) **Uniones:** Unir las tuberías deficientemente es una razón más para las fugas. Los tubos de acero soldados a menudo carecen de protección apropiada contra la corrosión interna y externa a lo largo de la costura de soldadura. Si los que ejecutan la técnica de soldadura de tubos de FG, que es relativamente nueva, son soldadores no calificados o mal capacitados, habrá frecuentemente defectos debido al caldeamiento y la compresión insuficiente de los extremos del tubo. También pueden

ocurrir fugas si los tubos del encaje exceden la curvatura angular máxima permitida o si el martillo de agua y las altas presiones afectan las uniones que no están cerradas.

### **2.2.6.Impactos de las pérdidas reales**

El objetivo principal de los sistemas de abastecimiento de agua es proveer agua potable de calidad y en cantidad adecuada a todos los clientes, con suficiente presión y en cualquier momento. En muchos casos, la fuga presenta la mayor barrera a estos objetivos. Los efectos negativos de las fugas se pueden dividir en:

- impactos económicos
- impactos técnicos
- impactos sociales
- impactos ambientales

#### **2.2.6.1.Impactos económicos**

La pérdida de agua en su camino hacia el consumidor incurre en costos de explotación, tratamiento y transporte sin generar ningún ingreso para la empresa. La cantidad de agua perdida puede proporcionarse nuevamente para satisfacer la demanda del cliente. Consecuentemente se deben incrementar las capacidades de las instalaciones técnicas.

Las reparaciones de fugas detectadas son caras en términos de los costos y personal que se requieren y usualmente interrumpen el servicio a los clientes.

Finalmente, los estallidos de tubos, las fugas y reboses pueden causar daños considerables a la infraestructura: el suelo circundante se horada y se erosiona, esto hace que los caminos, vías férreas o edificios colapsen. Las inundaciones hacen peligrar los estacionamientos subterráneos o las salas de ingeniería que contienen equipo caro. Se debe imponer grandes pagos compensatorios si la empresa de agua es responsable de los daños.

#### **2.2.6.2.Impactos técnicos**

Los tubos de agua potable que fugan pueden incrementar las cargas sobre las aguas servidas municipales y/o los sistemas de recolección de agua de tormenta debido a infiltración, lo

cual lleva a sobre-diseñar los tubos del alcantarillado. En consecuencia, las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden recibir agua adicional, lo cual genera costos de tratamiento adicionales.

Las grandes fugas pueden disminuir la cobertura de la demanda de agua existente, tanto que el sistema ya no puede operar continuamente. El suministro intermitente causará posteriores problemas técnicos por la intromisión del aire en los tubos (riesgo de martillos de agua, daño a los medidores de agua, errores de medición, etc.) y agua contaminada (riesgo de que la infección bacteriana expanda enfermedades contagiosas). Se tiene que mantener disponibles alternativas de abastecimiento costosas, como los camiones cisterna.

En el largo plazo un abastecimiento intermitente o poco confiable tentará a los clientes a instalar tanques en el techo, los que a su vez impiden la restauración de un suministro de agua continuo. La conexión entre el suministro intermitente y el nivel de fuga significa que las pérdidas de agua generalmente son más altas en sistemas operados intermitentemente que en sistemas operados continuamente. Se debe enfatizar que el suministro intermitente nunca debe percibirse como una solución técnica, sino como un obstáculo para combatir las pérdidas de agua.

### **2.2.6.3. Impactos sociales**

Las fallas de abastecimiento, como la presión baja y las interrupciones del servicio al punto de suministro intermitente son los impactos más comunes sobre el cliente. Estos inconvenientes llevarán a la insatisfacción y a las quejas de los clientes y pueden afectar negativamente la voluntad de pago de los clientes. Un mal suministro en combinación con estallidos frecuentes (visibles) de tubos afectará la reputación de la empresa y puede desencadenar mala publicidad.

Los riesgos potenciales de salud provenientes de aguas residuales y otros contaminantes que infiltran los sistemas de tubos con presiones bajas o el abastecimiento intermitente son incluso más serios. El agua contaminada puede causar brotes de enfermedades provenientes del agua, como el cólera, el tifus, la hepatitis A o la diarrea.

#### **2.2.6.4. Impactos ambientales**

El manejo sostenible requiere que todos los recursos de aguas naturales se manejen económicamente. El agua contaminada ya es escasa en muchas regiones, pero incluso las regiones con cantidades abundantes de agua no tienen recursos infinitos. La compensación de las pérdidas de agua incrementando más la extracción de agua pone más presión sobre los cuerpos de agua de superficie y subterráneos y esto es lo que los sistemas seguros de abastecimiento de agua evitarían.

Adicionalmente, el bombeo y el tratamiento químico del agua perdida a través de las fugas desperdician energía y causa así emisiones de dióxido de carbono innecesarias. Las grandes fugas a menudo pueden ser responsables de más del 25% del consumo de energía de una empresa de agua.

Se puede requerir cantidades sustanciales adicionales de energía para la decocción, así como para el transporte de agua potable en botellas o cisternas en caso en que el abastecimiento intermitente esté bajando la calidad del agua. Los sistemas de suministro intermitente incurren en altos costos de energía porque la presión se pierde cada vez que el sistema drena y se tiene que rellenar. Finalmente, se requiere más energía para el bombeo de larga distancia o para las tecnologías complejas de tratamiento, como la desalinización o la reutilización de aguas servidas si los recursos de agua existentes ya no son suficientes.

### **2.3. Pérdidas aparentes**

#### **2.3.1. Clasificación**

Las pérdidas aparentes son pérdidas que no se deben a fugas físicas en la infraestructura, sino que están causadas por otros factores. Las pérdidas aparentes se pueden agrupar en las siguientes categorías en base a su origen:

- inexactitudes de medición debido a contadores incorrectos de agua de los clientes o medidores de flujo incorrectos
- manejo de datos y errores de contabilidad, así como mala rendición de cuentas de los clientes en los sistemas de facturación

- consumo no autorizado debido al robo de agua y a las conexiones ilegales.

Para resumir lo anterior, las pérdidas aparentes comprenden toda el agua que se entrega exitosamente al cliente pero que no se mide o registra con exactitud, lo que causa un error en la cantidad que consumen los clientes. En las redes de suministro de agua sin medición consecuente de todo el sistema y con muchas conexiones ilegales, las pérdidas aparentes pueden representar cantidades significativas de agua. Las pérdidas aparentes están creando costos de producción sin generar ingreso para la empresa. Así, las pérdidas aparentes se pueden valorizar al costo de venta del agua y por lo tanto en muchos casos son las pérdidas más caras que pueda encontrar una empresa de agua. La reducción de las pérdidas aparentes de agua se puede lograr en muchos casos a costos relativamente bajos y por lo tanto es usualmente un buen punto de partida que devuelve rápidamente la inversión a la empresa de agua.

### **2.3.2. Razones de las pérdidas aparentes**

Las pérdidas aparentes son causadas por:

- inexactitudes del medidor de agua
- errores en los manejos de los datos
- cualquier forma de consumo no autorizado.

Las pérdidas aparentes no deben subestimarse porque no generan ingreso por agua que ya ha sido producida, tratada, transportada y entregada al cliente. Las razones de las pérdidas aparentes se pueden agrupar tal como se describe a continuación:

#### **2.3.2.1. Inexactitudes del medidor**

Las pérdidas de medición son frecuentemente la pérdida más común de las pérdidas aparentes. La experiencia muestra que un pequeño porcentaje de agua no se mide o se mide de manera incorrecta debido a errores de medición o a pérdidas crecientes en los medidores de agua. Esto afecta tanto a los medidores de los clientes como a los medidores de flujo de la empresa y puede estar causado por seleccionar medidores inconvenientes, medidores demasiado grandes, por una instalación no correcta y por la no calibración de los medidores, así como debido a un deterioro en el desempeño de muchos medidores a lo largo del tiempo.

### **2.3.2.2. Errores en el manejo de los datos**

El personal que lee medidores puede cometer errores de lectura del medidor. Se puede perder los datos del consumo de agua o se los puede cambiar debido a errores sistemáticos en el procesamiento de datos y a los procedimientos de facturación. El consumo no medido (necesidades propias y abastecimiento gratuito para los bomberos, riego de áreas verdes, limpieza de calles, etc.) puede subestimarse mientras que se puede sobreestimar la producción no medida. Las tarifas planas pueden causar un consumo de agua doméstico excesivo que excede de lejos la cantidad presupuestada.

### **2.3.2.3. Consumo no autorizado**

La extracción de agua no autorizada representa una fuente considerable de pérdidas en muchos países y aparece de maneras muy diferentes, por ejemplo, en las conexiones ilegales o en los medidores vandalizados o manipulados de los clientes o en los medidores que los clientes evitan, en la extracción ilegal del agua de las tuberías contra incendios, así como en los sobornos y corrupción a los empleados que leen los medidores u a otro personal de la empresa.

## **2.4. Determinación de las pérdidas aparentes**

Para la determinación de la eficiencia en la aducción del agua se debe hacer un análisis de las pérdidas aparentes las cuales son causadas por: inexactitudes del medidor de agua, errores en los manejos de los datos, cualquier forma de consumo no autorizado. Las pérdidas aparentes no deben subestimarse porque no generan ingreso por agua que ya ha sido producida, tratada, transportada y entregada al cliente.

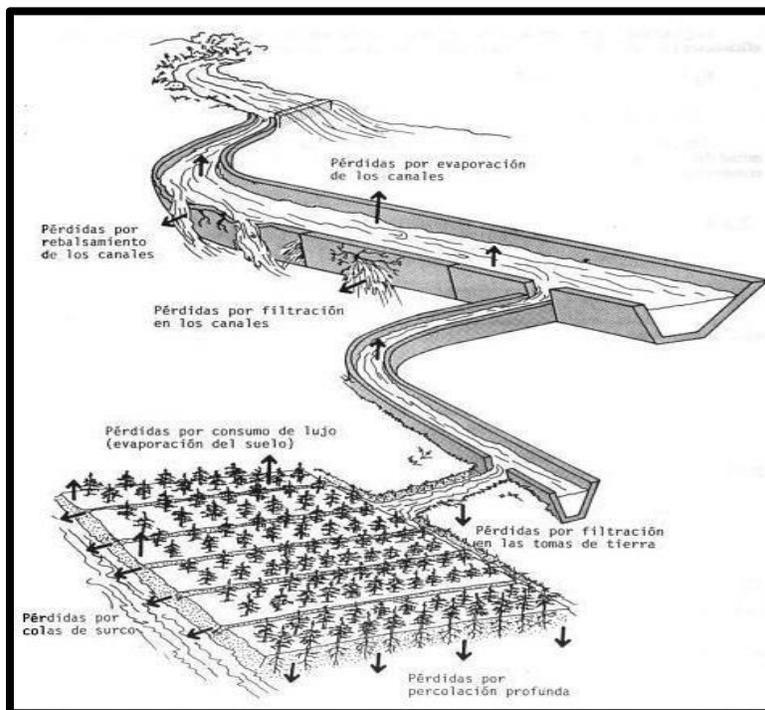
Las razones de las pérdidas aparentes se pueden agrupar tal como se describe a continuación:

### **2.4.1. Consumo no autorizado**

La extracción de agua no autorizada representa una fuente considerable de pérdidas en muchos países y aparece de maneras muy diferentes, por ejemplo, en las conexiones ilegales o en los medidores vandalizados o manipulados de los clientes o en los medidores que los clientes evitan, en la extracción ilegal del agua de las tuberías contra incendios, así como en

los sobornos y corrupción a los empleados que leen los medidores u a otro personal de la empresa.

Figura 2-6: Grafica de pérdidas en un canal



Fuente: Manual de pérdidas en sistemas de riego

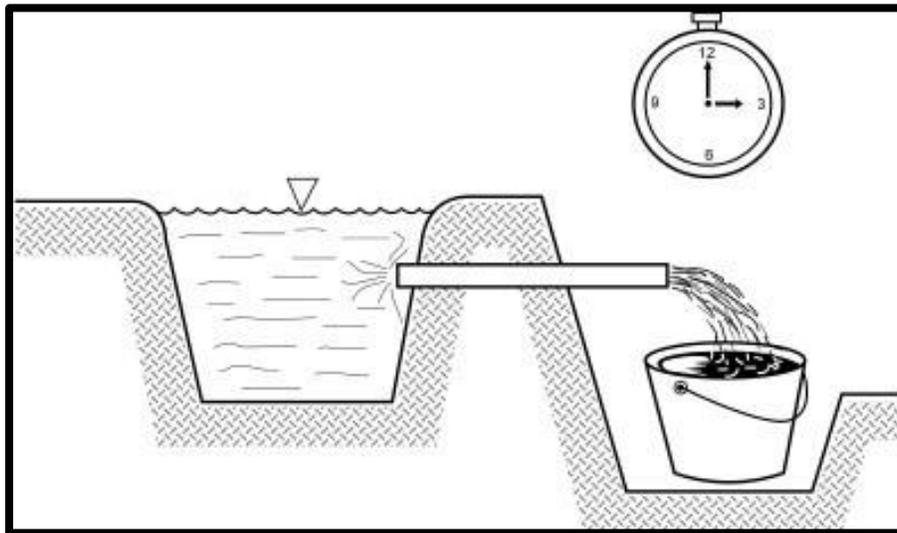
## 2.4.2. Mediciones de consumo autorizado

Para este tipo de consumo se hizo un sondeo o medición de las conexiones tanto autorizadas como no autorizadas del canal, usando dos métodos de medición de caudales, el método volumétrico y un método más avanzado usando un flujómetro ultrasónico PCE-TDS 100H/HS dependiendo de la posición y manualidad de la instalación de los consumidores.

### 2.4.2.1. Aforo volumétrico

Este método se recomienda para corrientes pequeñas, en las cuales se pueda coleccionar en un recipiente calibrado el 100% del flujo a medir, o cuando se trate de medir caudales que no permitan el uso del molinete (laminas con escasa profundidad), o no se cuente con este equipo, se utiliza el aforo volumétrico.

Figura 2-7: Aforo Volumétrico



Fuente: Manuel Agustín Lux M. Medidores de Flujo en Canales Abiertos

#### 2.4.2.2. Procedimiento de medición

El procedimiento es bastante simple y consiste sencillamente en recolectar en un recipiente previamente calibrado, un volumen de agua conocido y tomar con precisión el tiempo de recolección, preferiblemente con cronómetro. La calibración del recipiente y el tiempo de recolección deben ser muy precisos para garantizar la buena calidad de la medición del caudal. Para tal efecto, se recurre a recipientes de uso común como un balde o un jarro graduado que tenga registros de volumen; en otros casos el aforo se realiza en tanques de mayor tamaño que tengan dimensiones precisas, de tal manera que mediante la medición de un diferencial de nivel se determina un incremento de volumen y tomando el tiempo de incremento de volumen se puede calcular directamente el caudal que lleva la corriente o el canal. La calidad de la medición depende del cuidado que se tenga en las maniobras, por ejemplo, que ingrese al recipiente el 100% del flujo, es decir que no se presenten pérdidas y que la medición del tiempo sea muy exacta, para lo cual en algunos casos es necesario adelantar adecuaciones en el cauce con el propósito de transportar el total del flujo al recipiente mediante ayudas adicionales, por ejemplo, una caña (media) o una canaleta, según la magnitud del caudal.

### 2.4.2.3.Cálculo del caudal

El caudal se obtiene por la relación entre el volumen recolectado en litros y el tiempo correspondiente en segundos:

$$Q = \frac{V}{T}$$

donde:

V: volumen

T: tiempo

### 2.4.2.4.Requerimientos

- Definir y adecuar sección
- Canaleta o tubería para conducción del flujo al recipiente
- Recipiente (balde, jarra, tanque, etc.) aforado en litros
- Cronómetro
- Planilla de aforo.

Fotografía 2.1: Puntos de aforo volumétrico



Fuente: Elaboración Propia

### 4.3.3.2. Aforo con flujómetro ultrasónico

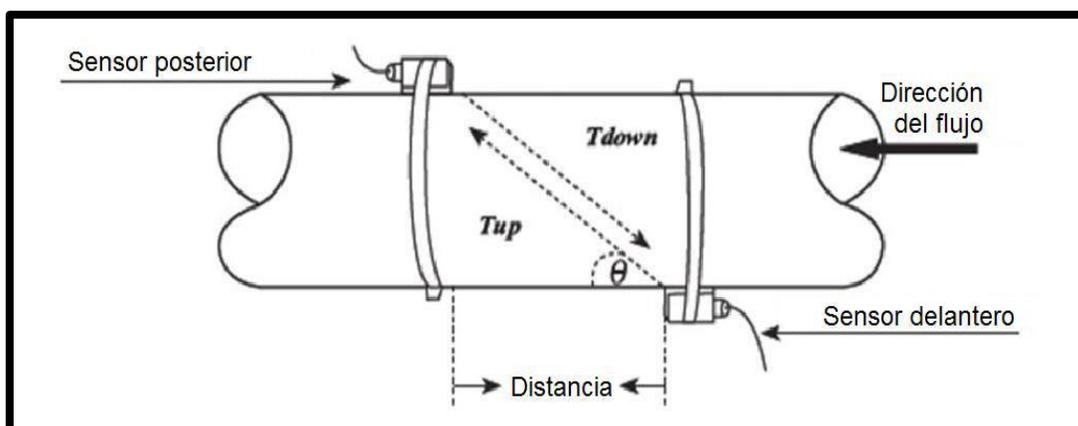
El medidor de caudal está diseñado para medir la velocidad de flujo en las tuberías. Los transductores / sensores funcionan sin contactos. Estos están expuestos a los conductos y no están sujetos a desgaste.

El PCE-TDS 100H/HS funciona con dos transductores de señal (corto: sensores) que funcionan tanto como un emisor de ultrasonidos como un receptor. Los sensores están montados a una distancia definida entre sí desde el exterior a la pared de la tubería.

Los sensores se pueden montar en V (método V), en este caso el ultrasonido pasa dos veces por el tubo. Con el método W, los sensores quedan montados y el sonido pasa cuatro veces por el tubo. Con el método Z, los sensores están montados en los lados opuestos, el sonido viaja en diagonal por el tubo o el líquido del tubo. La correcta elección del método depende de la tubería y de la propiedad del medio.

El aparato de medición funciona con dos sensores alternativamente como transmisor y receptor. Como transmisor, entra la energía sónica en la tubería, el receptor la recoge y se mide el tiempo. La diferencia de tiempo medido ofrece deducciones precisas sobre la velocidad de flujo en la tubería como se muestra en la imagen.

Figura 2-8: Posición de sensores



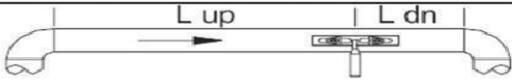
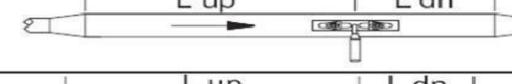
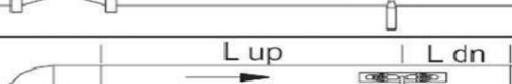
Fuente: Manual de instrucciones PCE-TDS 100H/HS

### 2.4.2.5. Procedimiento de medición

El primer paso de la instalación debe ser encontrar un lugar apropiado para montar el soporte del sensor para obtener resultados de medición precisos. Con este fin, es necesario un conocimiento básico de la mecánica de fluidos (en tuberías).

Lo ideal sería una tubería muy larga donde no haya líquidos que presenten bolsas de aire (burbujas). Las tuberías pueden ejecutarse en posición vertical u horizontal. Para evitar inexactitudes por turbulencias en el líquido, se debe considerar el trayecto de estabilización exacto delante o detrás de la posición de la medición. En general, se dice que el lugar de medición delante de la tubería debe tener una altura min. de 10 x de diámetro y detrás una posición de medición de 5 x de diámetro.

Figura 2-9: Posiciones Adecuadas Flujiómetro

Curso de la tubería y posición del sensor	Entrada	Salida
	$L_{up} \times \varnothing$	$L_{dn} \times \varnothing$
	10D	5D
	10D	5D
	10D	5D
	12D	5D
	20D	5D
	20D	5D
	30D	5D

Fuente: Manual de instrucciones PCE-TDS 100H/HS

En principio, se pueden ajustar posiciones de medición apropiadas:

- Instale el sensor en un tubo recto considerablemente largo que esté completamente lleno con un medio sin burbujas de aire.
- Asegúrese de que el medio y, por lo tanto, la tubería no esté demasiado caliente para los sensores. En general, es mejor cuanto más cerca esté de la temperatura ambiente.
- Fíjese si las tuberías están sucias, haga mediciones si es posible en tuberías limpias o nuevas. Puede limpiar también las tuberías y, en caso de que no sea posible, calcule el espesor para el revestimiento de la tubería.
- Algunas tuberías presentan una especie de revestimiento de plástico. Entre el tubo exterior y el revestimiento interior se encuentra una capa de barrera. Esta capa es capaz de alinear o atenuar ondas ultrasónicas, por lo tanto, una medición exacta es muy complicada de conseguir. Si es posible, intente evitar este tipo de conductos. Si no es posible, también se pueden introducir sensores incorporados en la tubería.
- Los sensores de PCE-TDS 100H/HS son sensores piezoeléctricos tanto para la transmisión como para la recepción de ondas ultrasónicas. La duración de las ondas ultrasónicas proporciona deducciones de la velocidad de caudal mediante la pared de la tubería y los líquidos. Dado que la duración de impulsos ultrasónicos es muy baja, las distancias y la alineación de los sensores se efectúan de la manera más exacta posible para lograr la precisión del sistema.

A continuación, aparecen los pasos para instalar los sensores:

- Busque una posición apropiada en su sistema de tubería, esto es, una trayectoria recta con nuevas posibles tuberías limpias.
- La limpieza posee una gran importancia, pule o da brillo en blanco los puestos para los sensores.
- Entre los sensores y la superficie de la tubería no debe haber ningún espacio de aire. Establezca los sensores con suficiente medio de acoplamiento.

## **2.5. Determinación de las pérdidas por Evaporación**

La evaporación es un proceso físico por el cual las moléculas superficiales de agua aumentan su nivel de agitación y escapan a la atmósfera. Depende de la Radiación solar, Temperatura del aire, Humedad atmosférica, Viento y Tamaño de la masa de agua. Las pérdidas por evaporación son menores

comparados con las pérdidas que se produce por infiltración en el canal de aducción ya que este está sellado y tapado casi en la totalidad de su trayecto.

Para la determinación de las pérdidas por evaporación que se registra en el canal, se toman datos de la estación meteorológica más próxima al sistema de aducción.

Tomando en cuenta un parámetro extremo o crítico, es decir, que el canal esté totalmente destapado y así su espejo de agua en su totalidad esté expuesto en su mayor magnitud a la evaporación.

Se tomó las horas sol de la misma estación como datos para el cálculo de los caudales.

## **2.6. Desperdicio**

El desperdicio de agua no se cuenta como un componente de las pérdidas de agua en el balance hídrico de la IWA porque ocurre luego del punto de medición al cliente. No obstante, el desperdicio puede representar una proporción significativa del consumo medido o no medido: se puede desglosar en desperdicio deliberado, por ejemplo, vandalismo o caños abiertos y en pérdidas en la vivienda causadas por una plomería defectuosa o por grifos que corren. Esto último se puede reducir significativamente reemplazando las tarifas planas subsidiadas con una política eficaz de medición de hogares que incentiva a reparar la plomería defectuosa.

Más aún, el desperdicio puede ocurrir dentro de la propia empresa de agua a través del uso excesivo o negligente del agua para propósitos operativos, por ejemplo, lavado de tubos o enjuagado de filtros y se incrementará así la cantidad de consumo autorizado no facturado.

El desperdicio de agua puede implicar un problema económico serio para las compañías de agua que tienen que importar o comprar agua de un proveedor de agua a granel y que por lo tanto tienen que pagar todo el costo de cada m<sup>3</sup> desperdiciado (no medido). En las regiones donde los recursos de agua son escasos o donde hay zonas que se abastece intermitentemente, la reducción del desperdicio puede ayudar a la seguridad del abastecimiento.

### 2.6.1.1. Manejo de las pérdidas de agua

La reducción de las pérdidas de agua debe ser el objetivo de cualquier empresa de agua ya que lleva a una mayor eficiencia económica y ecológica y a un mejor servicio para los clientes. Antes de desarrollar una estrategia de reducción de pérdidas de agua, quienes toman las decisiones deben ser conscientes de por qué tiene sentido proveer recursos financieros y personales para reducir las pérdidas de agua. Desde la perspectiva de una empresa de agua, existen al menos diez razones que pueden justificar un mayor gasto en el manejo de las pérdidas de agua:

- **Eficiencia en el costo operativo:** Un sistema de distribución de agua bien mantenido requerirá menos reparaciones, costos de producción más bajos y prevendrá los pagos por compensaciones.
- **Eficiencia del costo de capital:** Una falta de mantenimiento y la operación intermitente incrementarán el desgaste en los tubos, válvulas y medidores. Un mejor suministro extenderá la vida de servicio de los componentes del sistema y llevará a menores costos fijos para la empresa de agua en el largo plazo.
- **Mejor medición y facturación:** Menos fugas y una mejor situación de abastecimiento pueden también tener efectos positivos en las pérdidas de agua aparentes porque el aire dentro del sistema de distribución puede causar errores de medición.
- **Menos riesgos a la salud:** El agua residual y otros contaminantes pueden infiltrar el sistema de tubos a través de fugas y desencadenar enfermedades provenientes del agua en sistemas de baja presión o en el caso de operación intermitente.
- **Mayor seguridad de abastecimiento:** Un sistema bien mantenido con menos fugas y estallidos incrementará la garantía de abastecimiento.
- **Menos daños infraestructurales:** Las fugas pueden crear vacíos debajo de la tierra que pueden llevar al colapso de las vías y los edificios.
- **Menores cargas sobre el alcantarillado:** La infiltración de agua que se pierde en el sistema de alcantarillado pone una carga adicional en los tubos de canalización y en las plantas de tratamiento de aguas servidas.

- **Mayor satisfacción del consumidor:** Además de la mala calidad del agua, de la cantidad inadecuada y de los riesgos de salud, las fugas también reducen la presión en los aparatos de los clientes. Al mejorar el servicio de suministro mejorará la satisfacción del cliente y su voluntad de pago.
- **Publicidad y voluntad de pago:** Los menores estallidos, la mayor seguridad de suministro y condiciones higiénicas mejorarán la percepción que el público tiene de la empresa de agua. Esto también puede afectar positivamente la voluntad que tengan los clientes de pagar.
- **Estrés ecológico reducido:** Finalmente, el desarrollo de una estrategia de reducción de las pérdidas de agua tiene sentido desde un punto de vista ecológico. En caso de escasez o sobreexplotación de los recursos de agua, las pérdidas de agua deben reducirse para disminuir la presión sobre esos recursos.

### **2.6.2.Hidráulica y Construcción**

Toda modificación o aprovechamiento de carácter hidráulico persigue la realización de un fin económico, social o higiénico; los estudios y obras encaminados al logro de esos fines constituyen la rama de la técnica llamada Hidráulica.

Una política hidráulica bien meditada no debe limitarse a resolver un problema concreto aisladamente, sino que ha de tener en cuenta las repercusiones y derivaciones que la resolución tendrá en condiciones ya establecidas, procurando no causar nuevos perjuicios y, si es posible, aminorar o eliminar los ya existentes.

El aprovechamiento hidráulico completo consistirá, pues, en obtener de las aguas el máximo rendimiento. En la captación se comprende la determinación del volumen disponible; en la conducción se incluyen los almacenamientos (embalses) de agua y las obras de regulación y canalización, y, finalmente, la distribución abarca la utilización del agua en sus múltiples aspectos.

Con los trabajos hidráulicos en las corrientes de agua se aborda la cuestión, hoy tan debatida, de la modificación del paisaje. Basta el buen sentido del ingeniero, que no esté polarizado por su tablero de dibujo o sus cálculos, para comprender en cada caso si la realización de sus proyectos va a perjudicar o no el paisaje. Cuando sea fácil conservar los bosques y los

arbustos de la región, claro está que su deber es respetarlos. Si el problema no se presenta con esos caracteres de sencillez, debe requerir la colaboración del llamado “técnico de paisajes”.

## **2.7. Canales Abiertos y sus Propiedades**

### **2.7.1. Clases de Canales Abiertos**

Un canal abierto es un conducto en el cual el agua fluye con una superficie libre. De acuerdo con su origen un canal puede ser natural o artificial.

Los canales naturales incluyen todos los cursos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas, hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños y grandes, y estuarios de mareas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales.

Las propiedades hidráulicas de un canal natural por lo general son muy irregulares. En algunos casos pueden hacerse suposiciones empíricas razonablemente consistentes con las observaciones y experiencias reales, de tal modo que las condiciones de flujo en estos canales se vuelvan manejables mediante el tratamiento analítico de la hidráulica teórica. Un estudio completo sobre el comportamiento del flujo en canales naturales requiere del conocimiento de otros campos, como hidrología, geomorfología, transporte de sedimentos, etc. Éste constituye, de hecho, un tema de estudio por sí mismo, conocido como hidráulica fluvial.

Los canales artificiales son aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo humano: canales de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas de drenaje, vertederos, canales de desborde, canaletas de madera, cunetas a lo largo de carreteras, etc., así como canales de modelos construidos en el laboratorio con propósitos experimentales.

Las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas por hasta un nivel deseado o diseñadas para cumplir unos requisitos determinados. La aplicación de las teorías hidráulicas a canales artificiales producirá, por tanto, resultados bastante similares a las

condiciones reales y, por consiguiente, son razonablemente exactos para propósitos prácticos de diseño.

Bajo diferentes circunstancias en la práctica de ingeniería, los canales abiertos artificiales reciben diferentes nombres, como “canal artificial”, “canaleta”, “rápida”, “caída”, “alcantarilla”, “túnel bajo la superficie libre”, etc. Sin embargo, estos nombres se utilizan de manera más o menos imprecisa y solo se definen de un modo muy general. El canal artificial por lo general es un canal largo con pendiente suave construido sobre el suelo, que puede ser revestido o no revestido con piedras, concreto, cemento, madera o materiales bituminosos. La canaleta es un canal de madera, de metal, de concreto o de mampostería, a menudo soportado en o sobre la superficie del terreno para conducir el agua a través de una depresión. La rápida es un canal que tiene altas pendientes. La caída es similar a una rápida, pero el cambio en elevación se efectúa en una distancia corta. La alcantarilla, que fluye parcialmente llena, es un canal cubierto con una longitud comparativamente corta instalado para drenar el agua a través de terraplenes de carreteras o de vías férreas. El túnel con flujo a superficie libre es un canal cubierto comparativamente largo, utilizado para conducir el agua a través de una colina o cualquier obstrucción del terreno.

### **2.7.2.Geometría de Canal.**

Un canal construido con una sección transversal invariable y una pendiente de fondo constante se conoce como canal prismático. De otra manera, el canal, es no prismático; un ejemplo es un vertedero de ancho variable y alineamiento curvo. Generalmente los canales que se indican son prismáticos.

Las secciones naturales de los canales son, por lo general, muy irregulares, y a menudo varían desde aproximadamente una parábola hasta aproximadamente un trapecio. Para corrientes sujetas a crecientes frecuentes, el canal puede constar de una sección principal del canal que conduce los caudales normales y una o más secciones laterales de canal para acomodar los caudales de desborde.

Figura 2-10: Elementos geométricos de secciones de canal

Sección	Área $A$	Perímetro mojado $P$	Radio hidráulico $R$	Ancho superficial $T$	Profundidad hidráulica $D$	Factor de sección $Z$
 Rectángulo	$by$	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	$b$	$y$	$by^{1.48}$
 Trapezio	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$	$\frac{[(b + zy)y]^{1.48}}{\sqrt{b + 2zy}}$
 Triángulo	$zy^2$	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}zy^{1.48}$
 Círculo	$\frac{1}{8}(\theta - \sin \theta)d_0^2$	$\frac{1}{2}\theta d_0$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\cos \theta}{\theta}\right)d_0$	$\frac{(\sin \frac{1}{2}\theta)d_0}{2\sqrt{y(d_0 - y)}}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \sin \theta}{\sin \frac{1}{2}\theta}\right)d_0$	$\frac{\sqrt{2}}{32}\frac{(\theta - \sin \theta)^{1.48}}{(\sin \frac{1}{2}\theta)^{2.48}}d_0^{2.48}$
 Parábola	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8}{3}\frac{y^2}{T}$	$\frac{2Ty}{3T^2 + 8y^2}$	$\frac{3}{2}\frac{A}{y}$	$\frac{2}{3}y$	$\frac{3}{8}\sqrt{8}Ty^{1.48}$
 Rectángulo con esquinas redondeadas ( $y > r$ )	$\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)r^2 + (b + 2r)y$	$(\pi - 2)r + b + 2y$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y}{(\pi - 2)r + b + 2y}$	$b + 2r$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2}{b + 2r} + y$	$\frac{[(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y]^{1.48}}{\sqrt{b + 2r}}$
 Triángulo con fondo redondeado	$\frac{T^2}{4z} - \frac{r^2}{z}(1 - z \cot^{-1} z)$	$\frac{T}{z}\sqrt{1 + z^2} - \frac{2r}{z}(1 - z \cot^{-1} z)$	$\frac{A}{P}$	$2[z(y - r) + r\sqrt{1 + z^2}]$	$\frac{A}{T}$	$A\sqrt{\frac{A}{T}}$

\* Aproximación satisfactoria para el intervalo  $0 < x \leq 1$ , donde  $x = 4y/T$ . Cuando  $x > 1$ , utilice la expresión exacte  $P = (T/2) [\sqrt{1 + x^2} + 1/x \ln (x + \sqrt{1 + x^2})]$ .

Fuente: Chow, Hidráulica de Canales, 1994

Los canales artificiales a menudo se diseñan con secciones de figuras geométricas regulares. La figura 1-3 relaciona 7 formas geométricas utilizadas comúnmente. El trapecio es la forma más común para canales de tierra sin recubrimiento, debido a que proveen las pendientes necesarias para estabilidad. El rectángulo y el triángulo son casos especiales del trapecio. Debido a que el rectángulo tiene lados verticales, por lo general se utiliza para canales construidos con materiales estables, como mampostería, roca, metal o madera. La sección triangular solo se utiliza para pequeñas acequias, cunetas a lo largo de carreteras y trabajos de laboratorio. El círculo es la sección más común para alcantarillados y alcantarillas (culverts) de tamaños pequeño y mediano.

## 2.8. Definición de vertederos

Los vertederos son estructuras que tienen aplicación muy extendida en todo tipo de sistemas hidráulicos y expresan una condición especial de movimiento no uniforme en un tramo con notoria diferencia de nivel.

Un vertedero es un dique o pared que intercepta una corriente de un líquido con superficie libre, causando una elevación del nivel del fluido aguas arriba de la misma. Los vertederos se emplean bien para controlar ese nivel, es decir, mantener un nivel aguas arriba que no exceda un valor límite, o bien para medir el caudal circulante por un canal. Como vertedero de medida, el caudal depende de la altura de la superficie libre del canal aguas arriba, además de depender de la geometría; por ello, un vertedero resulta un medidor sencillo pero efectivo de caudal en canales abiertos.

Los vertederos pueden ser definidos como simples aberturas, sobre los cuales un líquido fluye. El término se aplica también a obstáculos en el paso de la corriente y a las excedencias de los embalses.

Los vertederos son muy utilizados, intensiva y satisfactoriamente en la medición del caudal de pequeños cursos de agua y conductos libres, así como en el control del flujo en galerías y canales, razón por la cual su estudio es de gran importancia.

## **2.9. Clasificación de los vertederos**

Aceptando las más variadas formas y disposiciones, los vertederos presentan los más diversos comportamientos, siendo muchos los factores que pueden servir de base para su clasificación, entre éstos están:

- **Forma:**

Simples: rectangulares, triangulares, etc.

Compuestos: contruidos por secciones combinadas como los tipos sutor.

- **Espesor de la pared:**

Vertedores de pared delgada: la descarga se efectúa sobre una placa con perfil de cualquier forma, pero con arista aguda.

Vertedores de pared gruesa: con  $e > 0,5H$ .

- **Longitud de la cresta:**

a) Vertederos sin contracciones laterales:  $b = B$

b) Vertederos con contracciones laterales:  $b < B$

### 2.9.1. Vertederos de pared delgada

También conocidos como vertederos de cresta delgada o pared aguda. Estos vertederos son construidos de una hoja de metal u otro material que pueda ser biselado y que permita que el chorro o manto salga libremente de la cresta del vertedero.

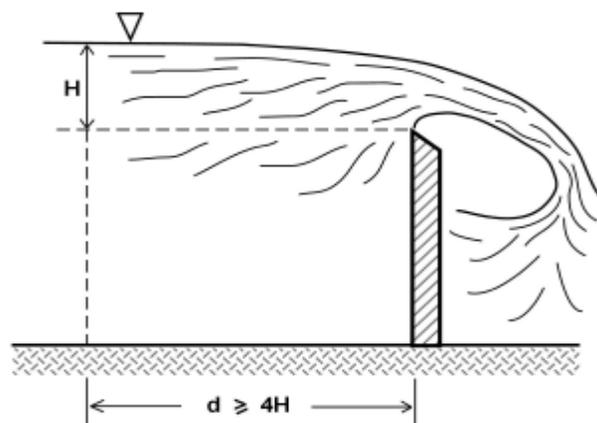
Los vertederos de cresta delgada sirven para medir caudales con muy buena precisión, siempre que estén bien instalados.

Debe haber una poza de amortiguación o un canal de acceso aguas arriba para calmar cualquier turbulencia y lograr que el agua se acerque al vertedero lenta y suavemente.

El vertedero debe tener el extremo agudo del lado aguas arriba para que la corriente fluya libremente y no se produzca una depresión, lo que causaría problemas en el modelo hidráulico.

El medidor de la altura de carga ( $H$ ) debe de ser instalado detrás de la escotadura, a una distancia mayor o igual a  $4H$  para que no se vea afectado por la curva de descenso del agua a medida que se acerca a la misma. El cero del medidor fija el nivel en el punto más bajo de la escotadura.

Figura 2-11: Vertedero de pared delgada



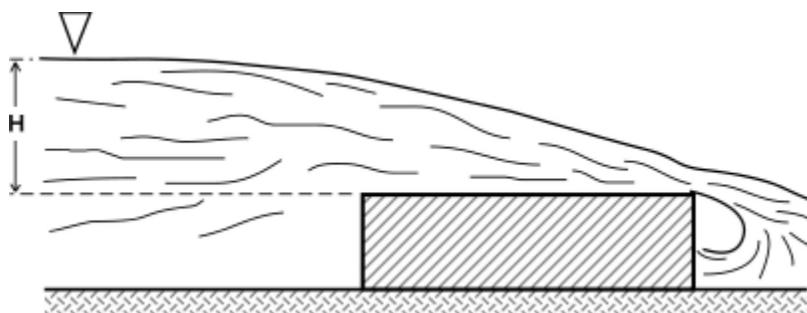
Fuente: Lux, Manuel. Medidores de flujo en canales abiertos. p. 9.

### 2.9.1.1. Vertederos de pared gruesa

También llamada vertedero de cresta ancha. Un vertedero es considerado de pared gruesa, cuando la cresta es suficientemente gruesa para que en la vena adherente se establezca el paralelismo de los filetes.

Este tipo de vertederos es utilizado principalmente para el control de niveles en los ríos o canales, pero pueden ser también calibrados y usados como estructuras de medición de caudal.

Figura 2-12: Vertedero de pared gruesa



Fuente: Lux, Manuel. Medidores de flujo en canales abiertos. p. 10.

### 2.10. Marco conceptual:

- **Cresta (b):** Se denomina al borde horizontal, también llamado umbral
- **Contracción:** Lo constituyen los bordes o caras verticales.
- **Carga (H):** Es la altura alcanzada por el agua a partir de la cresta del vertedero. Debido a la depresión de la lámina vertiente junto al vertedero, la carga H debe ser medida aguas arriba, a una distancia aproximadamente igual o superior a 4H.
- **Ancho (B):** Ancho del canal de acceso al vertedero
- **Canales con revestimiento simple.** - El canal de revestimiento de concreto simple es el canal en el cual se emplaza el concreto simple en la sección del canal antes perfilado, de acuerdo a la geometría. Este tipo de revestimiento puede instalarse usando encofrados normales (madera) o modernos (metálicos), además de materiales como cemento, agregados, asfalto, entre otros; con lo cual se obtiene un canal estable y con mínimas pérdidas de agua durante toda su vida operativa.

En general es un revestimiento de mayor costo porque la construcción es relativamente compleja y de gran envergadura, debiendo utilizarse una alta cantidad de mano de obra. En su gran mayoría, el canal adopta una sección rectangular o cuadrada con aristas curvas, por facilidad en la obra. Los revestimientos en un canal se construyen de varios tipos de material. El llamado de superficie dura puede ser a base de concreto simple, reforzado o lanzado a alta presión, de concreto asfáltico, de mampostería (piedra, ladrillo, bloques prefabricados, etc.)

El revestimiento en canales, ofrece lo siguiente:

- **Aumento de la capacidad del canal:** La eliminación de la erosión permite que el agua circule en los canales revestidos a mayor velocidad que en los de tierra, obteniéndose, como resultado, mayor caudal para igual sección.
- **Imposibilidad de roturas:** Si el canal es revestido resulta muy difícil la producción de roturas, y aún en el caso en que ocurrieran agrietamientos, la resistencia a la erosión del material del revestimiento impide el ensanchamiento de la abertura con lo cual se evita la posibilidad de consecuencias graves. Además, que este tipo de eventos pueden ser reparables.
- **Prevención de la erosión:** El revestimiento de los canales permite adoptar velocidades de escurrimiento más elevadas y radios de curvas horizontales menores, lo que se traduce en longitudes y secciones menores, así como taludes más empinados que en los canales sin revestir.
- **Eliminación de vegetación:** En los canales sin revestimientos, tanto los taludes como el fondo tienden a cubrirse de vegetación, especialmente pastos y hierbas, aunque también suelen en algunos casos desarrollarse en las bermas arbustos y hasta árboles. El revestimiento impide considerablemente el crecimiento de la vegetación anulando los inconvenientes enumerados.
- **Agua potable.** - Aquella que, por sus características organolépticas, físico-químicas, radioactivas y microbiológicas, se considera apta para el consumo humano y que cumple con lo establecido en la norma NB 512 y el reglamento nacional para el control de la calidad de agua para Consumo Humano.

- **Aforo de caudales.** - El conocimiento de la variación del caudal que fluye por una determinada sección de un cauce natural es de suma importancia en los estudios hidrológicos. De acuerdo con la calidad y la cantidad de los registros de caudales necesarios en un estudio hidrológico, las mediciones se pueden hacer de una manera continua o permanente o de una manera puntual o instantánea, las mediciones continuas de caudales requieren de la instalación de una estación medidora (limnimétrica) o de una estación registradora (limnigráfica). Las mediciones aisladas, puntuales o instantáneas, se realizan en determinados momentos en que se desee conocer la magnitud de una corriente en particular.

la mayoría de los métodos de aforo se basan en la ecuación de continuidad.

$$Q = V * A$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal [m}^3/\text{s]}$$

$$A = \text{Área o sección transversal [m}^2\text{]}$$

$$V = \text{Velocidad del flujo [m/s]}$$

- **Eficiencia de Conducción en Canales de Riego.** -Es la relación entre el volumen o caudal de agua que ingresa a un canal, y el volumen o caudal de agua que se sale en un punto distinto al de ingreso.

$$\text{Efe (\%)} = (Q_s / Q_e) 100$$

Donde:

$$\text{Efe (\%)} = \text{Eficiencia de conducción [m}^3/\text{s]}$$

$$Q_e = \text{Caudal de ingreso al canal [m}^3/\text{s]}$$

$$Q_s = \text{Caudal de salida al canal [m}^3/\text{s]}$$

En la medida que se conozcan las pérdidas de conducción, se mejorará la eficiencia del sistema de aducción y el control de la operación, pues permitirá atender la demanda de agua que requiere la planta de tratamiento.

Podemos dividir las pérdidas que se originan en un canal en tres grandes grupos:

- *Pérdidas Reales.* - Son volúmenes de agua perdidos dentro de un determinado periodo a través de todo tipo de fugas, estallidos y reboses. Las pérdidas reales se pueden clasificar de acuerdo a su ubicación dentro del sistema y su tamaño; también se clasifican según el tiempo durante el cual fugan; esto ocurre en el sistema de aducción por el mal estado del canal, rotura por raíces y maleza que daña el sistema de aducción, provocando pérdidas de agua en el tramo.
  
- *Pérdidas de Agua Aparentes.* - Las pérdidas aparentes son pérdidas que no se debe a fugas físicas en la infraestructura, sino que están causadas por otros factores. Las pérdidas aparentes se pueden agrupar en las siguientes categorías en base a su origen:
  - ✓ inexactitudes de medición debido a contadores incorrectos de agua de los clientes o medidores de flujo incorrectos.
  - ✓ manejo de datos y errores de contabilidad, así como mala rendición de cuentas de los clientes en los sistemas de facturación.
  - ✓ consumo no autorizado debido al robo de agua y a las conexiones ilegales.

Para resumir lo anterior, las pérdidas aparentes comprenden toda el agua que se entrega exitosamente al cliente pero que no se mide o registra con exactitud, lo que causa un error en la cantidad que consumen los clientes. En las redes de suministro de agua sin medición consecuente de todo el sistema y con muchas conexiones ilegales, las pérdidas aparentes pueden representar cantidades significativas de agua. Las pérdidas aparentes están creando costos de producción sin generar ingreso para la empresa. Así, las pérdidas aparentes se pueden valorizar al costo de venta del agua y por lo tanto en muchos casos son las pérdidas más caras que pueda encontrar una empresa de agua. La

reducción de las pérdidas aparentes de agua se puede lograr en muchos casos a costos relativamente bajos y por lo tanto es usualmente un buen punto de partida que devuelve rápidamente la inversión a la empresa.

- *Pérdidas por Evaporación.* - Generadas por la evaporación de agua que hay en el espejo de agua del canal por las horas sol; estas son de magnitud casi nula ya que el canal se encuentra tapado con losetas y sellado con mortero de cemento.

### **2.10.1.Marco Institucional:**

Constituida con sujeción a la Constitución Política del Estado y la Ley General de Sociedades Cooperativas del 13 de septiembre de 1958, se constituyó la Cooperativa de Servicios Públicos COSAALT Ltda., misma que fue reconocida con Personalidad Jurídica mediante Resolución del Consejo Nacional de Cooperativas No 3181, de fecha 27 de noviembre de 1986 e inscrita en el Registro Nacional de Cooperativas con el No. 2919 de fecha 27 de noviembre de 1986.

Por mandato de la nueva Ley General de Cooperativas N° 356 de fecha 11 de abril de 2013 y su Reglamento a través de Decreto Supremo No. 1995 de fecha 13 de mayo de 2014 y de la Asamblea General Extraordinaria de la Cooperativa, se modifica el Estatuto Orgánico, adecuando y actualizando su texto a la nueva normativa; se mantienen sus objetivos trazados mencionados en el presente Estatuto.

*MISIÓN Servir a la colectividad en el abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario, preservando la salud y el medio ambiente. VISIÓN Ser una EPSA líder en el Sur de Bolivia, comprometida con la mejora continua en la prestación de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario, con calidad a la ciudad de Tarija.*

#### **2.10.1.1.Naturaleza y Responsabilidad**

La Cooperativa COSAALT Ltda. es una Asociación de personas naturales y/o jurídicas, sin fines de lucro, de fondo variable, número de asociadas o asociados ilimitados; en tal virtud

sus asociadas y asociados, responderán hasta el monto o valor de sus certificados de aportación pagados.

La Cooperativa responde ante terceros con su patrimonio.

#### **2.10.1.2. Denominación**

De conformidad al Art. 13 de la Ley General de Cooperativas, la Cooperativa se denomina “Cooperativa de Servicios Públicos de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de Tarija” RL. y usará la sigla COSAALT RL.

#### **2.10.1.3. Domicilio**

El Domicilio Legal de la Cooperativa se halla ubicado en la ciudad de Tarija de la Provincia Cercado del Departamento de Tarija, de acuerdo a la licencia de prestación de servicios emitida por la AAPS, ejerciendo influencia en la jurisdicción territorial del Municipio de la ciudad de Tarija y en los municipios lugares donde incursione en el cumplimiento de sus objetivos.

#### **2.10.1.4. Duración**

La duración de la Cooperativa es de carácter indefinido, manteniendo su independencia como Cooperativa.

#### **2.10.1.5. Régimen Legal**

El régimen legal de la Cooperativa COSAALT RL; se sustenta en la Constitución Política del Estado, Ley General de Cooperativas N° 356 y su Decreto Reglamentario N°. 1995, la Ley Marco de Autonomías y Descentralización, Ley 2066 de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, Ley 482 de Gobiernos Autónomos Municipales, el Reglamento Nacional de Prestación de Servicios, Estatuto y Reglamentos correspondientes, Manuales y demás normas aplicables que regulan al sector de agua y saneamiento y el cooperativo, así como las leyes sociales vigentes y todas las normas relacionadas.

#### **2.10.1.6.Principios**

La Cooperativa, en el marco de lo establecido en la C.P.E. y el Art. 6 de la Ley N° 356 y el presente Estatuto, está sustentada en los principios: De solidaridad, igualdad, reciprocidad, equidad de distribución, finalidad social, no lucro de sus asociados, también en los principios del cooperativismo, asociación voluntaria, gestión democrática, participación económica, autonomía e independencia, educación, capacitación, integración entre cooperativas e interés por la colectividad.

#### **2.10.1.7. Valores Cooperativos**

La Cooperativa en el desarrollo de sus actividades asume, respeta y practica los valores de ayuda mutua, complementariedad, honestidad, transparencia, responsabilidad y participación equitativa, en el marco del Art. 7 de la Ley N° 356.

#### **2.10.1.8. Objeto General**

La Cooperativa tiene como objetivo principal garantizar el suministro de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, con calidad, continuidad y cantidad a todos nuestros asociados, asociadas y usuarios dentro de su Área de Prestación de Servicio otorgada por la AAPS, concordante con la CPE y la Ley Marco de Autonomías y otras leyes relativas al sector.

#### **2.10.1.9. Objetivos Específicos**

- Prestar los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario con calidad, continuidad y eficiencia, de acuerdo a criterios socioeconómicos y con equidad social.
- Planificar, construir, transportar, tratar, distribuir, operar, mantener y administrar los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario, principalmente en el área donde presta el servicio la Cooperativa y sus áreas aledañas de influencia donde por ley se le permita.

- Recuperar las inversiones efectuadas, para seguir ampliando los servicios que presta, exigiendo el pago de su aportación individual y la tarifa, que debe pagar cada asociada/asociado por el servicio recibido, aprobada por autoridad competente.
- Asegurar el equilibrio económico, social y la sostenibilidad de la Cooperativa en armonía con la naturaleza.
- Promover, difundir y participar en planes y programas de educación e integración cooperativa, buscando el desarrollo económico y social de sus asociados/asociadas y de la comunidad, pudiendo establecer convenios con los tres niveles de gobierno (nacional, departamental y municipal) del Estado y/o con organismos del exterior, para este objetivo.
- Realizar todos los actos jurídicos, económicos y sociales que demande el buen funcionamiento de la Cooperativa.
- Promover, difundir, fomentar y realizar acciones de educación en saneamiento ambiental, ecológico, protección de fuentes, así como socializar las actividades con las asociadas y asociados de la Cooperativa.

Para alcanzar sus objetivos, la Cooperativa podrá:

- Procurar por los medios legales la captación de recursos económicos a través de financiamiento interno o externo.
- Asociarse, realizar trámites, suscribir actos jurídicos, socio-económicos con los tres niveles de Gobierno o con terceros de acuerdo a las normas y leyes vigentes del Sector Cooperativo o de Saneamiento Básico.
- Adquirir deuda colectiva a través de la emisión de certificados de participación, para mejorar la prestación del servicio.

### **2.10.2.Marco espacial:**

El espacio donde se desarrollará el proyecto de aplicación será desde la comunidad del Rincón de La Victoria, comunidad de la Victoria y finalizar en la zona Tabladita en la ciudad de Tarija.

### **2.10.3.Marco temporal:**

Todos los datos de información recogidos son del año 2017-2018.

### **2.11.Alcance:**

El presente Proyecto de Grado abarcará lo siguiente:

- Recolección de información necesaria por parte del proyectista.
- Realizar un diagnóstico de operación y mantenimiento del canal de aducción del Rincón de la Victoria.
- Análisis de la guía para reducir pérdidas de la GIZ (en sistemas de agua potable) y otras normas.
- Determinar el porcentaje de pérdidas de agua que se generan en el sistema de aducción Rincón de la Victoria.
- Calcular totales parciales de cada uno de los tipos de pérdidas de agua que hay en el sistema de conducción.

## CAPÍTULO III

### 3. DIAGNÓSTICO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNIDADES Y PARTES DEL CANAL DE ADUCCIÓN DE EL RINCÓN DE LA VICTORIA

Fotografía 3.1: Canal de Aducción Rincón de la Victoria



Fuente: Elaboración Propia

#### 3.1. Ubicación geográfica del proyecto

El proyecto se encuentra ubicado a orillas de la cordillera de Sama, las aguas se captan del río de la Victoria el cual nace en la cabecera de la serranía dentro de la reserva del mismo nombre; este sistema inicia en el vertedero ubicado en el Rincón de la Victoria parte de la Reserva Biológica de la Cordillera de Sama que se halla en la provincia Méndez (1ra sección), hasta terminar en el vertedero de salida situado a 20 metros del desarenador ubicado en la provincia Cercado, ciudad de Tarija en la zona del barrio Tabladita.

Figura 3-1: Mapa de Bolivia



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3-2: Mapa de Tarija



Fuente: Elaboración Propia



### 3.2. Coordenadas UTM y geodésicas

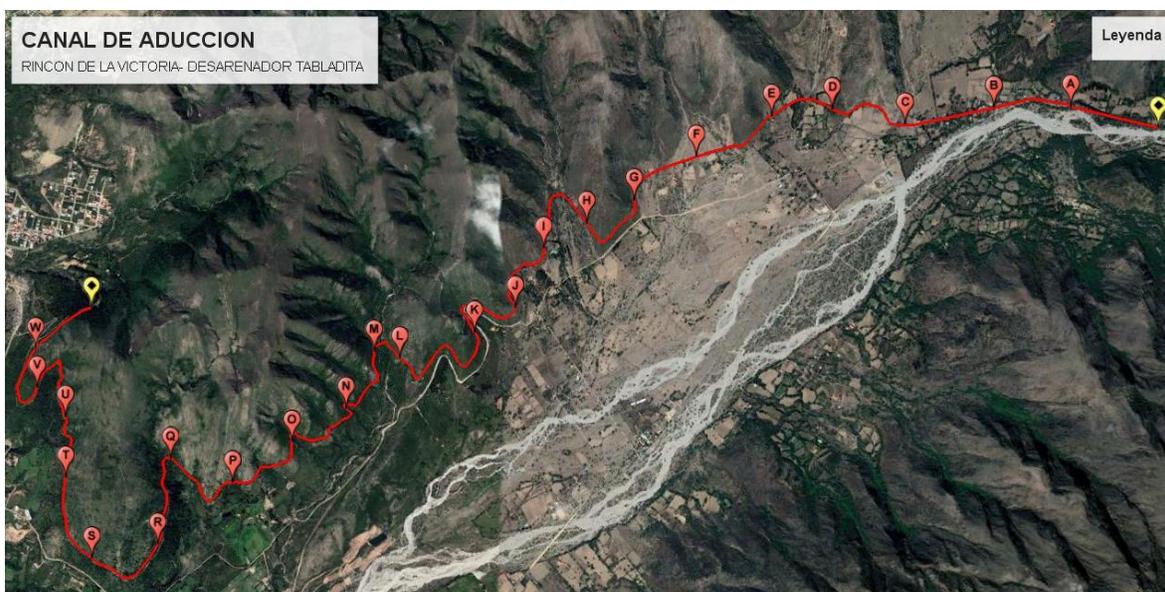
El presente proyecto del sistema de aducción se encuentra construido en las provincias Eustaquio Méndez y Cercado, las cuales son dos de las seis provincias del departamento de Tarija entre las coordenadas:

Tabla 3-1: Coordenadas UTM y Geográficas

Descripción	Altitud m.s.n.m.	Coordenadas UTM		Coordenadas Geodésicas	
		Norte	Este	Latitud	Longitud
Entrada	2204	7616568,77 m	310141,36 m.	21°32'37,10"S	64°49'59,90"O
Salida	2096	7618228,64 m	315890,05 m	21°31'45,30"S	64°46'39,48"O

Fuente: Elaboración Propia

Figura 3-5: Trazo del sistema de Aducción del Rincón de la Victoria



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3. Descripción general del sistema de aducción del Rincón de la Victoria

El sistema de aducción tiene un inicio en la comunidad del Rincón de la Victoria y termina en el vertedero de salida ubicado en el desarenador de Tabladita; a continuación, se detalla cada componente del sistema de transporte a gravedad.

### **3.4. Componentes del sistema de Aducción:**

#### **3.4.1. Fuentes de abastecimiento (Obras de toma)**

El sistema de aducción cuenta con 3 obras de toma que captan el agua de una sola fuente de abastecimiento, que es el río La Victoria; durante todo el año, este río abastece al canal con caudal variable según la época tanto de lluvias (húmeda), como en época de estiaje (seca).

#### **3.4.2. Canal de Aducción**

Es el medio por el cual se transporta el agua que es captada, mediante canales; este funciona cuando está sometido solo a presión atmosférica y para esto se debió de establecer una topografía del área circundante teniendo en cuenta los desniveles y así poder trabajar con el perfil longitudinal, además de tener un revestimiento para evitar o minimizar pérdidas en el canal y estar debidamente sellado (tapado) para evitar la contaminación del agua.

#### **3.4.3. Vertederos o medidores de flujo**

Como se ha visto, la medición de caudales puede ser realizada por distintos métodos, pero sin duda los sistemas más eficientes y exactos son aquellos que utilizan estructuras especiales. Casi todas las clases de obstáculos que restringen parcialmente la corriente de agua en un canal, pueden ser utilizados para medición de caudales, siempre que se les calibre apropiadamente.

### **3.5. Fuentes de abastecimiento del canal de aducción Rincón de la Victoria**

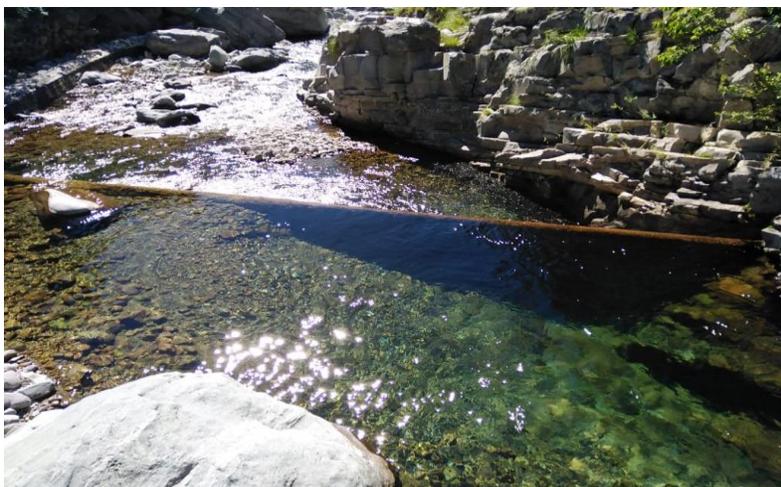
El canal de aducción del Rincón de la Victoria tuvo desde un principio una sola fuente de abastecimiento y una obra de toma (presa derivadora) que está ubicada sobre el río La Victoria, pero con el pasar de los años se tuvo que añadir dos obras más, una obra de toma directa y una galería filtrante ambas emplazadas en el mismo río para tener un mayor provecho de los caudales que aporta el río La Victoria en la época de estiaje.

#### **3.5.1. Río La Victoria**

Actualmente, la principal fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Tarija es el río La Victoria, en la cual existen en total tres obras de toma. Las obras de captaciones directas son dos: una de ellas mediante un vertedero lateral que conduce a un canal gravitacional (presa de derivación), y la otra una toma directa ubicada a 800 m aguas abajo de la presa. Una tercera toma de tipo sub superficial, consiste en una galería filtrante ubicada

a 800 m aguas abajo de la toma directa. Todas las obras de toma se encuentran sobre el mismo río La Victoria y están ubicados aproximadamente a 12 Km al oeste de la ciudad.

Fotografía 3.2: Río de la Victoria



Fuente: Periódico El País

En la Tabla 2.1 se detallan las características principales del sistema de abastecimiento de agua potable, cuya fuente es el río La Victoria.

Tabla 3-2: Componentes del sistema de Aducción COSAALT Ltda.

Componentes	Sistema de Agua Potable
Fuentes	<p><b>1) Caudales:</b>            -- Caudal medio época de lluvia de 326 l/s, mínimo 90 l/s, promedio 230 l/s            -- Caudal medio época de estiaje 142 l/s            -- Caudal medio anual 249 l/s</p> <p><b>2) Obras de captación:</b> a 12km al oeste de la ciudad, a una altura de 2200 msnm            Toma 1: Presa de derivación Rincón de la Victoria del año 1989            Toma 2: Toma directa, a 800 m aguas abajo de la presa de derivación            Toma 3: Galería Filtrante del año 1939, a 1.600m aguas abajo de la presa de derivación</p> <p><b>3) Aducción:</b> Desde la presa de derivación en el río La Victoria hasta el desarenador, y luego a la planta de tratamiento de Tabladita, con una longitud total de aproximadamente 13 km., mediante un canal de mampostería de piedra con tramos de tubería de hierro fundido.</p>

Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT.

### 3.6. Obras de toma sobre el río La Victoria

#### 3.6.1.Presa de derivación

La presa derivadora se ubica en la comunidad Rincón de la Victoria, sobre el río del mismo nombre. Dicha obra fue construida en 1989, y está constituida por un vertedero frontal tipo Creager que se dispone prácticamente perpendicular al lecho del río, con una altura aproximada de 2,0 m y una longitud de 20 m. La mencionada estructura de hormigón ciclópeo se halla provista de una toma lateral directa en el margen izquierdo, que capta las aguas a través de una cámara lateral. Este dispositivo es la obra de captación propiamente dicha, tiene en la entrada una rejilla metálica para evitar en la época de crecidas el acceso de material grueso de arrastre o de sólidos flotantes. La cámara de entrada cuenta con una compuerta vertical maniobrable desde la parte superior, cuya acción es la de facilitar la limpieza y permitir regular los caudales de entrada, cuando es necesario. Actualmente, la presa de derivación se encuentra en general en buenas condiciones, sin embargo, cumple su función solamente durante la época seca, captando prácticamente la totalidad del caudal de estiaje.

Durante la época húmeda, el material de arrastre del río pasa por la cresta del vertedero y obstruye la entrada del agua para la toma lateral, por lo que esta toma solo opera durante la época seca.

Fotografía 3.3: Rio de la Victoria

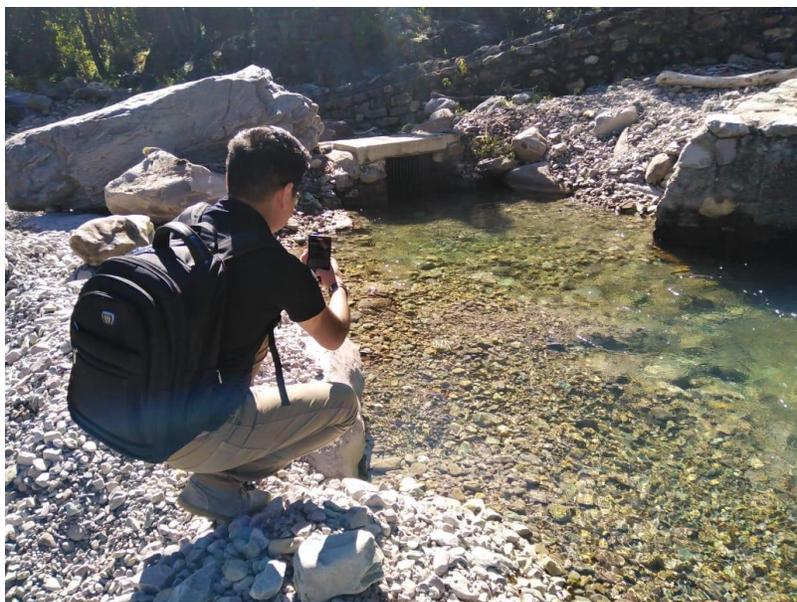


Fuente: Elaboración Propia

### 3.6.2.Toma directa

Esta toma consiste en un ingreso directo de las aguas que escurren por el río hacia el canal que baja desde la presa derivadora, aproximadamente a 800 m aguas debajo de esta última. La misma presenta una reja metálica para evitar el ingreso de material de arrastre mayor a 2.5 cm.

Fotografía 3.4: Obra de Toma directa



Fuente: Elaboración Propia

### 3.6.3.Galería filtrante

Aproximadamente a 1.600 m aguas abajo de la presa de derivación, se ubica una galería filtrante, la cual está construida de mampostería de piedra y provista de barbacanas laterales, con una longitud de 30 m, ancho de 0,60 m, y altura de 0,80 m. La galería se halla situada a una profundidad promedio de 6,70 m. La operación de la galería filtrante se limita solamente a la época húmeda, debido a que en estiaje la totalidad del caudal es captado aguas arriba mediante la presa derivadora.

Las aguas captadas en las tres tomas del río La Vitoria se unen en un solo curso aguas abajo, para ser conducidas al desarenador y posteriormente a la planta de tratamiento. Los aforos realizados en el canal aductor permitieron obtener caudales del orden de 342 l/s.

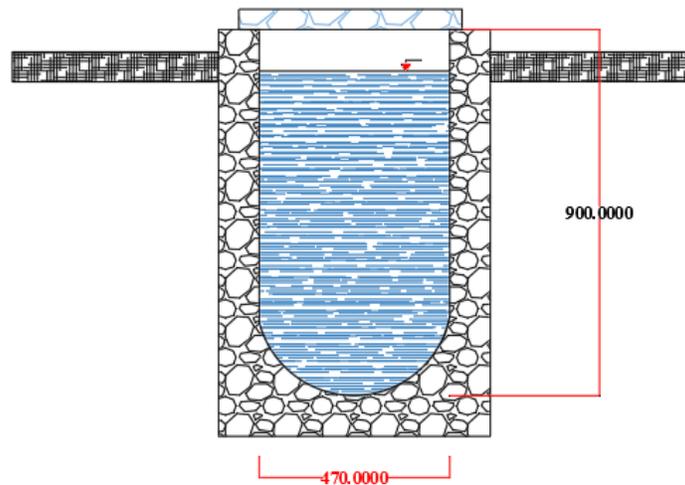
Tabla 3-3: Resumen de fuentes de abastecimiento a la planta de tratamiento “Tabladita”

Fuente	Tipo de capacitación	Tipo de conducción	Lugar del tratamiento	Lugares de abastecimiento	Capacidad instalada
<b>Río de la Victoria</b>	Presa de derivación Toma directa Galería filtrante	Gravedad	Planta tabladita	Centro de la ciudad y zona sur de la ciudad	342 l/s
Total, de Recurso Disponible					342 l/s

Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT.

### 3.7. Aducción Rincón de la Vitoria - Desarenador Tabladita

Figura 3-6: Sección transversal del canal



Fuente: Elaboración Propia

La conducción del agua desde las tomas de La Victoria comienza con la presa derivadora que se encuentra a una mayor altura en la cuenca. Desde la presa derivadora sale un canal aductor, que también capta las aguas de la toma directa, y aproximadamente 1.9 km aguas abajo se une con un canal que transporta el agua de la galería filtrante; es en este punto donde el agua de la presa derivadora, de la toma directa y la galería filtrante se unen para posteriormente ser transportadas a la planta potabilizadora.

El agua captada fluye por gravedad mediante un canal cubierto con un desnivel aproximado de 284 m hasta el desarenador en La Tabladita. La sección del canal es semicircular en la base, compuesto de mampostería de piedra, con paredes laterales verticales, revestidas con mortero de cemento con espesor que varía de 5 cm a 3 cm. El ancho de la sección del canal es de 0.50 m hasta 0.75 m, y la pendiente de fondo es muy variable en toda su longitud existiendo valores que van desde 0.10% hasta 0.26% en algunos tramos cortos.

A lo largo de la aducción existen tramos intercalados, con puentes acueductos por los que pasa el canal aductor, cruzando quebradas y tramos irregulares.

Antes de llegar a la planta potabilizadora, aproximadamente a 1 km de longitud existe un desarenador, el cual fue reacondicionado en 1988 y financiado por el Banco Iberoamericano del Desarrollo (BID), es de forma rectangular con dimensiones de 14 m de largo y 5 m de ancho. El mismo está compuesto de mampostería de piedra con revoque de mortero sus paredes, y cuenta con un bypass para poder llevar a cabo trabajos de operación y mantenimiento. Se encuentra en óptimo estado y se llevan a cabo trabajos de mantenimiento.

### 3.7.1. Diagnóstico

Fotografía 3.5: Canal de Aducción



Fuente: Elaboración Propia

El canal presenta pérdidas en todo su trayecto, esto se debe a las pérdidas aparentes de agua y también las ocasionadas por la infiltración debido a fisuras tanto en las paredes como en la base del canal; se debería de considerar la pérdida por evaporación pero al ser un canal tapado y sellado en la cuantificación de la pérdida que se hizo se pudo ver que hay una pérdida del 16% en total, se pudo realizar un estudio minucioso, aunque la mayor dificultad fue determinar las pérdidas aparentes de agua, se vio que el porcentaje mayor se debe a las conexiones que la gente hace del canal y las pérdidas que se dan en un tramo específico del canal donde el mismo pasa de canal cubierto a acueducto por un túnel.

### 3.8. Vertedero de entrada Rincón de la Victoria

Tabla 3-4: Características del Vertedero Rincón de la Victoria

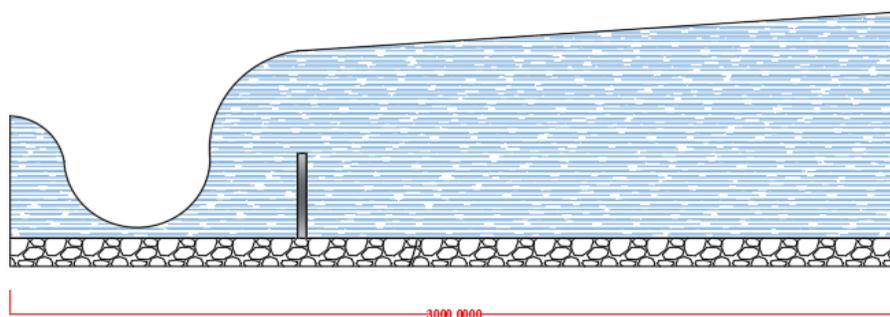
Característica	Dato
Alto de vertedero	0.30 m
Ancho de vertedero	0.47 m
Tipo de vertedero	Pared delgada
Material	Plancha metálica
Tirante máx. Sobre la cresta	461.3 l/s
Latitud	21°32'37,10"S
Longitud	64°49'59,90"O

Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT Ltda.

Está ubicada en la zona del Rincón de la Victoria dentro de la propiedad que está a nombre de Padres Carmelitas, emplazado en los años 1989 conjuntamente la construcción de todo el sistema de aducción, no sufrió modificaciones estructurales siendo un vertedero rectangular de pared delgada sin contracción, el cual se calibró con una ecuación, según la curva de descarga del flujo que se dan por los distintos caudales, para solo tomar mediciones de tirantes y así llevar un control de la variación de ingreso del agua al canal, capacidad nominal de 160 l/s. Las medidas geométricas del vertedero son de L=0.47 m, A=0.05 m y H= 0.30 m, construido con mampostería de piedra y revoque de cemento. A unos metros antes del medidor de flujo se encuentra una compuerta de desfogue la cual es un dispositivo hidráulico-mecánico destinado a regular el pasaje del agua.

### 3.8.1. Diagnóstico

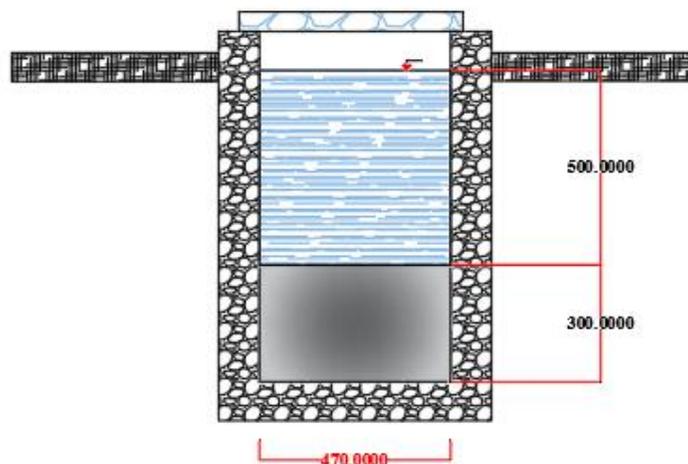
Figura 3-7: Sección longitudinal del vertedero



Fuente: Elaboración Propia

El agua que viene del Rincón de la Victoria para entrar al sistema de aducción pasa primero por este medidor de flujo, aunque no tiene ninguna falencia o daño, se encuentra al igual que todo el sistema en un estado ya desgastado y con poco mantenimiento. Esta obra se encuentra en una mala ubicación puesto que para hacer un correcto control de caudal de ingreso este no debería de tener una compuerta de desfogue a menos de 2 metros del vertedero, porque afecta al correcto monitoreo de los tirantes generados en el canal.

Figura 3-8: Sección Transversal del vertedero



Fuente: Elaboración Propia

En sus primeros años de funcionamiento contada con un limnigrafo para tomar las medidas constantes de las láminas de flujo, pero debido a la falta de mantenimiento y material para

que permanezca activo dejó de funcionar; en la actualidad las mediciones del tirante de agua en el vertedero se las lleva de manera instantánea 3 veces al día en las siguientes horas: 08:00 am., 02:00 pm. y 06:00 pm. las cuales las cubre el personal encargado, pero este solo cuenta con una regla metálica para la medición sin contar con una regleta emplazada correctamente en la sección transversal del canal además de estimar tirantes según su criterio.

### 3.9. Vertedero de salida Desarenador Tabladita

Tabla 3-5: Características del vertedero desarenador Tabladita

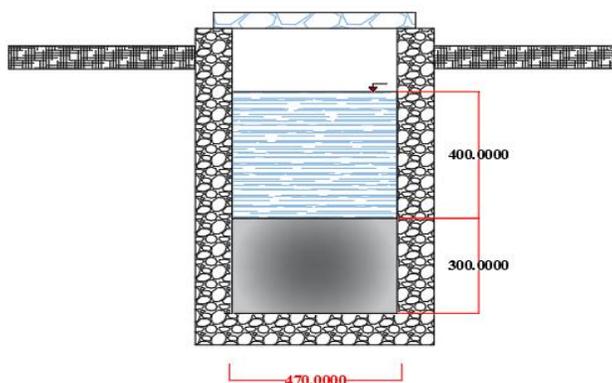
Característica	Dato
Alto de vertedero	0.30 m
Ancho de vertedero	0.45 m
Tipo de vertedero	Pared delgada
Material	Plancha metálica
Tirante máx. Sobre la cresta	378.4 l/s
Latitud	21°31'45,30"S
Longitud	64°46'39,48"O

Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT Ltda.

El objetivo de esta unidad es permitir el monitoreo de los caudales de salida del canal de aducción; se encuentra a unos 10 metros antes de llegar al sistema de sedimentación en la Zona de Tabladita.

#### 3.9.1. Diagnóstico

Figura 3-9: Sección Transversal del vertedero



Fuente: Elaboración Propia

Al final del sistema de aducción el agua pasa por este medidor de flujo, que, tiene su estructura dañada; se encuentra en un estado de desgaste y el mantenimiento es necesario. Esta obra se encuentra en una ubicación según la teoría puesto que para hacer un correcto control de caudal de ingreso este no debería de tener una compuerta de desfogue a menos de 2 metros del vertedero porque afectaría al correcto monitoreo de los tirantes generados en el canal.

Desde sus primeros años de funcionamiento las medidas de la lámina de caudal se hicieron manualmente, al igual que en la actualidad, en la que las mediciones del tirante de agua en el vertedero se las lleva acabo de manera instantánea 3 veces al día en las siguientes horas 08:00 am., 02:00 pm. y 06:00 pm. las cuales las realiza el personal encargado, pero este solo cuenta con una regla metálica para la medición sin contar con una regleta emplazada correctamente en la sección transversal del canal además de estimar tirantes según su criterio.

Fotografía 3.6: Cámara de desfogue Desarenador



Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO IV

### 4. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA EN EL TRANSPORTE DE AGUA POTABLE DEL SISTEMA DE ADUCCIÓN

Para realizar un análisis de las pérdidas o fugas del canal y poder determinar la eficiencia en el transporte de agua potable se elaboró un balance hídrico con los datos obtenidos de campo y también se hizo una comparación con los datos del registro de caudales que tienen la Cooperativa COSAALT Ltda. y poder determinar la eficiencia y cuantificar pérdidas lo más exactas posibles.

$$Q_E = Q_S + P_R + P_A + P_E$$

Donde:

$Q_E$ = Caudal de Entrada (l/s)

$Q_S$ = Caudal de Salida (l/s)

$P_R$ = Pérdidas Reales (l/s)

$P_A$ = Pérdidas Aparentes (l/s)

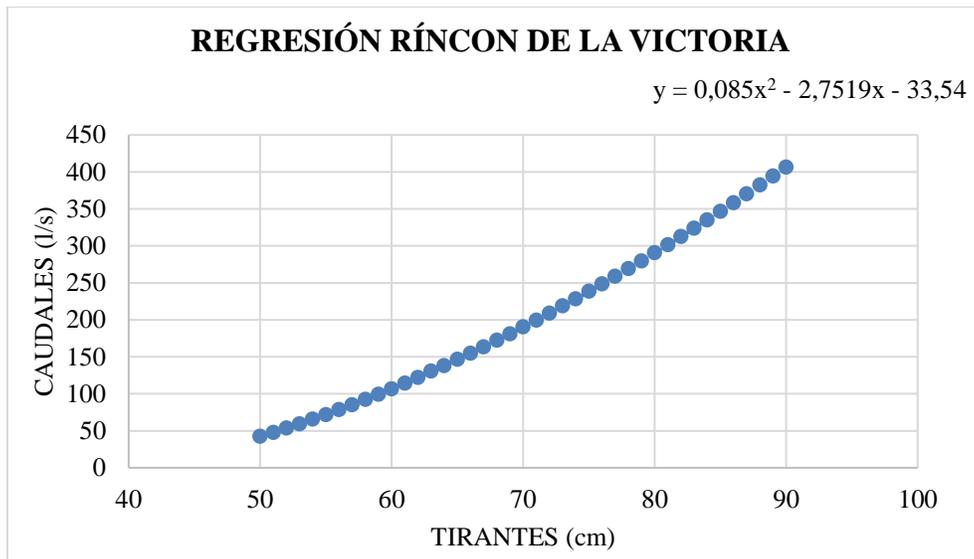
$P_E$ = Pérdidas por Evaporación (l/s)

#### 4.1. Determinación de caudal de entrada y caudal de salida

Para poder determinar las pérdidas reales primero se tuvo que determinar los caudales de entrada y salida, para así calcular los porcentajes de pérdidas aparentes y las pérdidas generadas por la evaporación en el sistema.

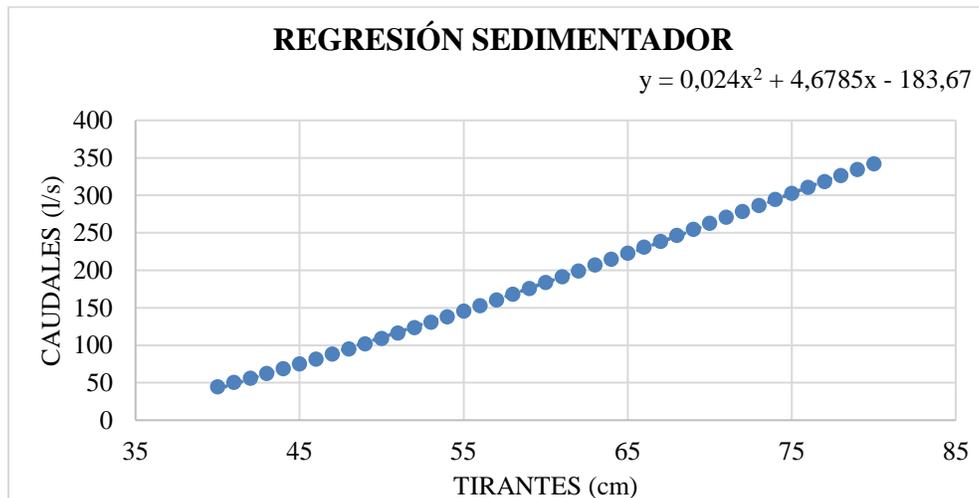
La Cooperativa de Agua Potable de la ciudad de Tarija COSAALT Ltda. cuenta con dos curvas de calibración polinómicas de segundo grado para los medidores de flujo del sistema de aducción los cuales son los encargados de calcular los caudales que se generan de estos dos puntos específicos, uno a la entrada del sistema de aducción ubicada en la comunidad del Rincón de la Victoria y otro a la salida del sistema a 20 metros antes del pre-sedimentador en el barrio Tabladita.

Figura 4-1: Curva de calibración Rincón de la Victoria



Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT Ltda.

Figura 4-2: Curva de calibración Rincón de la Victoria



Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT Ltda.

La ecuación utilizada para este tipo de medidores de caudal es de tipo polinómica de grado segundo representada por:

$$0,085x^2 - 2,7519x - 33,54$$

reemplazando los tirantes promedios diarios del anexo 10 en X y así poder obtener el valor de los caudales diarios.

En la cual se conocen los valores de  $X = H$  y se necesita encontrar los valores de  $Q$

$$Q = 0,085H^2 - 2,7519H - 33,54 \implies \text{Ec. Calibración R. de la Victoria}$$

Donde:

$H$ = tirante medido antes del vertedero Rincón de la Victoria (cm)

$Q$ = caudal o gasto generado de entrada al sistema (l/s)

Se tomará la ecuación modelo del vertedero ubicada cerca al Sedimentador la cual es de tipo polinómica de segundo grado representada por:

$$0,024x^2 + 4,6785x - 183,67$$

En la cual se conocen los valores de  $X = H$  y se necesita encontrar los valores de  $Q$

$$Q = 0,024H^2 + 4,6785H - 183,67 \implies \text{Ec. Calibración Sedimentador}$$

Donde:

$H$ = tirante medido antes del vertedero Sedimentador (cm)

$Q$ = caudal o gasto generado a la salida del sistema (l/s)

Calculados los caudales diarios se promediaron para determinar los caudales medios mensuales.

$$Q_{\text{mes.}} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n}{n}$$

Donde:

$Q_1, Q_2, Q_3, Q_n$  = Caudales diarios (l/s)

$Q_{\text{mes}}$  = Caudal mensual (l/s)

$n$  = Número de caudal diarios

Los caudales generados en la gestión 2017-2018 utilizando las ecuaciones de calibración con las que cuenta Cosaalt Ltda. son los siguientes:

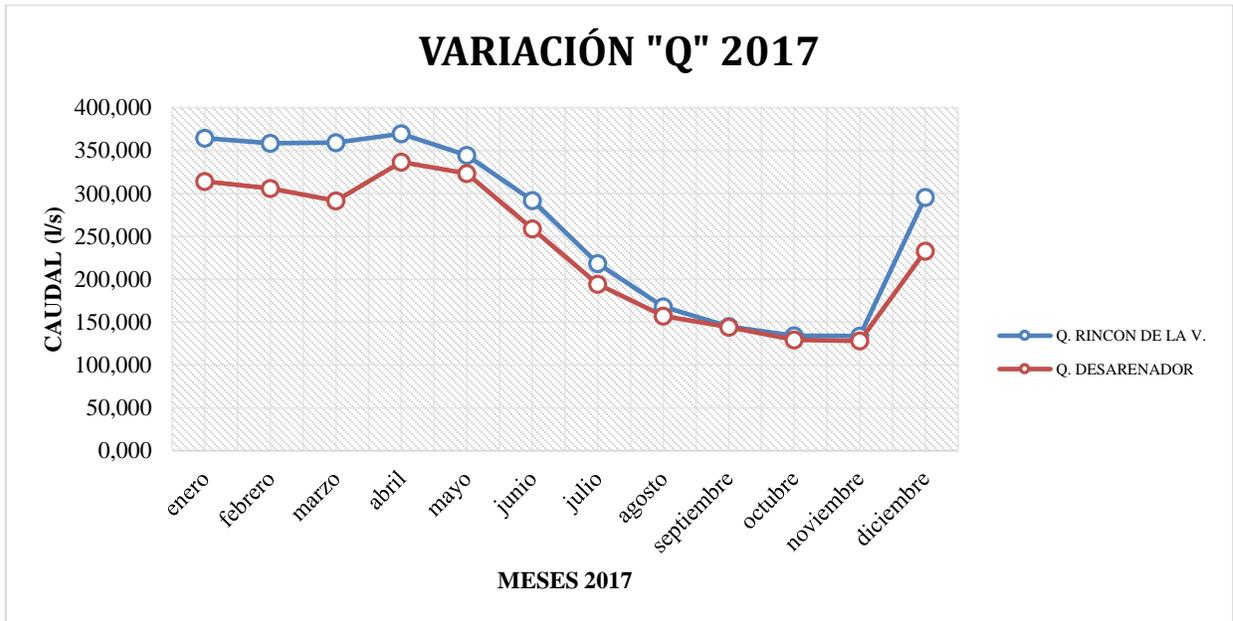
Tabla 4-1: Caudales mensuales de entrada y salida del sistema

Año	Mes	Rincón de la Victoria		Sedimentador	
		Tirante Promedio (cm)	Caudal (l/s)	Tirante Promedio (cm)	Caudal (l/s)
2017	Enero	86,484	364,509	76,306	313,978
	Febrero	86,000	358,457	75,286	306,007
	Marzo	86,065	359,409	73,500	291,344
	Abril	86,933	369,618	79,117	336,706
	Mayo	84,767	344,389	77,516	323,519
	Junio	80,100	292,002	69,667	258,950
	Julio	72,935	218,215	61,420	194,326
	Agosto	67,484	167,995	56,484	157,191
	septiembre	64,767	144,840	54,693	144,142
	Octubre	63,452	134,334	52,683	129,285
	noviembre	63,360	133,915	52,480	128,036
	diciembre	79,931	295,457	66,241	232,973
2018	Enero	87,000	370,410	77,226	321,194
	Febrero	87,000	370,410	80,071	344,865
	Marzo	87,000	370,410	79,000	335,969
	Abril	87,000	370,410	79,000	335,716
	Mayo	84,710	343,365	75,226	304,801
	Junio	77,200	261,123	67,500	242,024
	Julio	70,903	198,963	60,161	184,700
	Agosto	66,806	162,609	56,581	157,889
	septiembre	64,433	142,063	54,300	141,167
	Octubre	63,903	138,000	53,733	137,050
	noviembre	67,200	169,960	57,833	168,467
	diciembre	85,194	350,517	76,548	315,366

Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT Ltda.

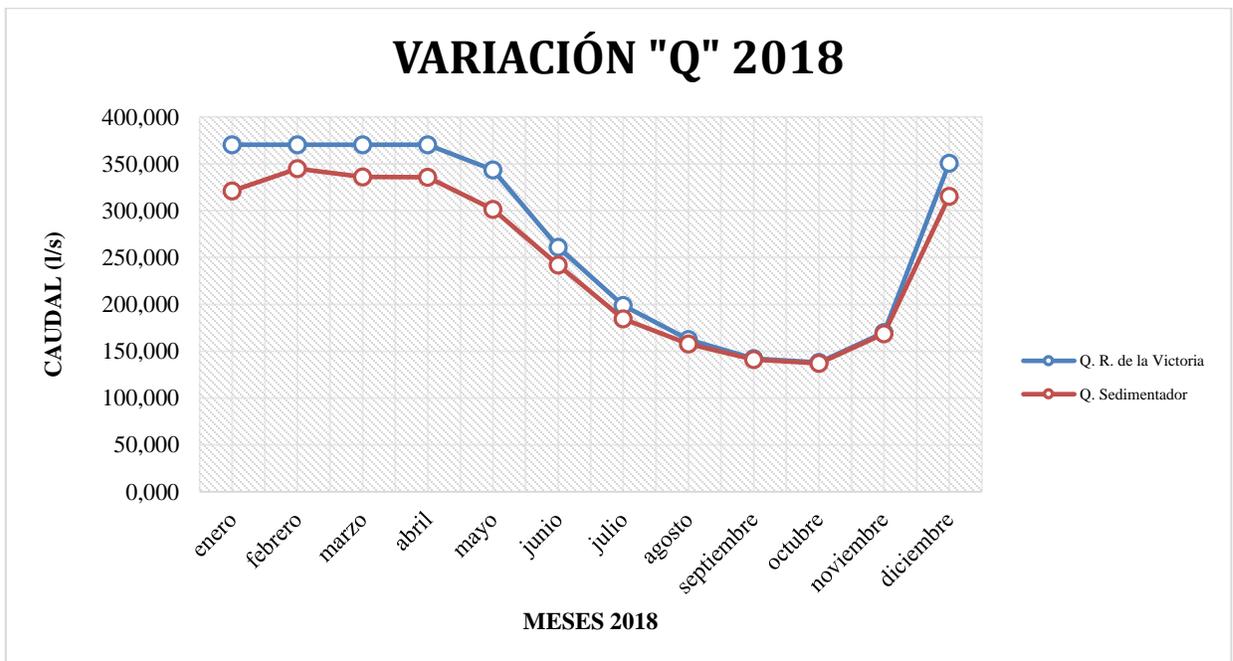
Después de determinar los caudales medios mensuales de las gestiones 2017 y 2018 se generaron gráficas de cada año respectivamente para ver más claro el comportamiento de los caudales y la diferencia de los gastos medios mensuales registrados tanto a la entrada como a la salida del sistema de aducción.

Figura 4-3: Variación de Caudales gestión 2017



Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT Ltda.

Figura 4-4: Variación de Caudales en la gestión 2018



Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT Ltda.

#### 4.1.1. Determinación de la eficiencia del canal de aducción

Analizando el comportamiento de las gráficas se denota la variación de pérdidas entre la época húmeda y la época seca de cada año, es por eso, que para determinar la eficiencia del sistema se trabajará en dos escenarios uno en época de lluvia o húmeda comprendida por los meses de diciembre, enero, febrero, marzo, abril, mayo y el segundo escenario será en época seca o estiaje comprendida por los meses de junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre para tener valores más aproximados de la eficiencia y el comportamiento de los caudales y las pérdidas del sistema.

Se tomará la fórmula siguiente para determinar los caudales tanto de entrada como de salida del sistema en época de lluvias o húmeda:

$$Q_{E.Humeda} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n}{n}$$

Donde:

$Q_1, Q_2, Q_3, Q_n$  = Caudales mensuales época húmeda (l/s)

$Q_{E. Húmeda}$  = Caudal promedio época húmeda (l/s)

$n$  = Número de caudales época húmeda

De la misma manera utilizaremos la fórmula siguiente para determinar los caudales tanto de entrada como de salida del sistema en época de estiaje o seca:

$$Q_{E. Seca} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n}{n}$$

Donde:

$Q_1, Q_2, Q_3, Q_n$  = Caudales mensuales época seca (l/s)

$Q_{E. Seca}$  = Caudal promedio época seca (l/s)

$n$  = Número de caudales época seca

Tabla 4-2: Caudales mensuales generados de entrada y salida del sistema

Año	Mes	Rincón de la Victoria		Sedimentador	
		Tirante Promedio (cm)	Caudal (l/s)	Tirante Promedio (cm)	Caudal (l/s)
2017	Enero	86,484	364,509	76,306	313,978
	Febrero	86,000	358,457	75,286	306,007
	Marzo	86,065	359,409	73,500	291,344
	Abril	86,933	369,618	79,117	336,706
	Mayo	84,767	344,389	77,516	323,519
	Junio	80,100	292,002	69,667	258,950
	Julio	72,935	218,215	61,420	194,326
	Agosto	67,484	167,995	56,484	157,191
	septiembre	64,767	144,840	54,693	144,142
	Octubre	63,452	134,334	52,683	129,285
	noviembre	63,360	133,915	52,480	128,036
	diciembre	79,931	295,457	66,241	232,973
2018	Enero	87,000	370,410	77,226	321,194
	Febrero	87,000	370,410	80,071	344,865
	Marzo	87,000	370,410	79,000	335,969
	Abril	87,000	370,410	79,000	335,716
	Mayo	84,710	343,365	75,226	304,801
	Junio	77,200	261,123	67,500	242,024
	Julio	70,903	198,963	60,161	184,700
	Agosto	66,806	162,609	56,581	157,889
	septiembre	64,433	142,063	54,300	141,167
	Octubre	63,903	138,000	53,733	137,050
	noviembre	67,200	169,960	57,833	168,467
	diciembre	85,194	350,517	76,548	315,366
Promedio en lluvia (l/s)			355,613		313,537
Promedio en estiaje (l/s)			180,335		170,269

Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT Ltda.

Una vez determinados los caudales promedios por épocas de las gestiones 2017 y 2018 se determinarán las eficiencias con las siguientes ecuaciones modelos:

$$\text{Eficiencia de Aducción (\%)} = \frac{Q_s * 100}{Q_e}$$

Otra forma de cálculo de la eficiencia de conducción es utilizando los conceptos de pérdidas mediante las siguientes expresiones.

$$Q_p (\%) = \frac{Q_e - Q_s}{Q_e} * 100$$

$$\text{Eficiencia de Aducción (\%)} = 100 - Q_p (\%)$$

Donde:

$Q_e$ = caudal de entrada Rincón de la Victoria (l/s)

$Q_s$ = Caudal de salida Desarenador Tabladita (l/s)

$Q_p$ = Pérdidas de agua de la canal expresada en caudal (%)

- **Eficiencia de aducción en época de lluvia o húmeda**

$$\text{Eficiencia Cosaalt Ltda. época húmeda (\%)} = \frac{313,537 * 100}{355,613} = 88.17\%$$

- **Eficiencia de aducción en época estiaje o seca**

$$\text{Eficiencia Cosaalt Ltda. época seca (\%)} = \frac{170,269 * 100}{180,335} = 94.42\%$$

Con los caudales registrados por la Cooperativa se determinó que la eficiencia promedio del sistema en época húmeda de 88,17 % y en poca de seca es de un 94.42 %.

Se ve que la eficiencia del canal es un porcentaje medio, pero se puede mejorar la eficiencia del mismo haciendo un mantenimiento y mejorando algunos tramos donde existe pérdida por infiltración.

#### 4.1.2. Cálculo de eficiencia e hipótesis de variación de caudal en época húmeda y seca

Viendo los caudales provenientes del Rincón de La Victoria y el control a la llegada al presedimentador, existe la incertidumbre si son reales o no; para ver cuan reales son estos caudales se aforaron las descargas de los vertederos tanto a la entrada como a la salida del sistema en dos fechas puntuales; para tener un punto de comparación con los caudales que nos proporciona la Cooperativa esta medición se la realizó con un molinete proporcionado por el laboratorio de hidráulica de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

##### 4.1.2.1. Caudales medidos en campo

Tabla 4-3: Tabla de caudales medidos en época seca

Punto N°	Caudal época seca 24/11/2017	
	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s)
Entrada R. de la Victoria	0,166	166,19
Salida Sedimentador	0,124	124,21
Total, de Pérdidas	0,042	41,98

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-4: Tabla de caudales medios en época húmeda

Punto N°	Caudal en época húmeda 03/05/2018	
	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s)
Entrada R. de la Victoria	0,491	461,30
Salida Sedimentador	0,378	378,40
Total, de Pérdidas	0,113	112,90

Fuente: Elaboración propia.

##### 4.1.2.2. Caudales medidos por COSAALT Ltda.

Tabla 4-5: Tabla de caudales medidos en época seca

Punto N°	Caudal época seca 24/11/2017	
	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s)
Entrada R. de la Victoria	0,130	130,455
Salida Sedimentador	0,124	124,508
Total, de Pérdidas	0,006	5,941

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-6: Tabla de Caudales medios en época húmeda

Punto N°	Caudal en época húmeda 03/05/2018	
	(m3/s)	(l/s)
Entrada R. de la Victoria	0,358	358,457
Salida Sedimentador	0,294	293,963
Total, de Pérdidas	0,064	64.494

Fuente: Elaboración propia.

Analizando la variación de la eficiencia del canal y los caudales tomados en época de lluvia como en estiaje para dos fechas puntuales haremos la determinaremos de la diferencia entre los gastos de las fechas especificadas medidos en campo y los que determinó COSAALT Ltda.

Tabla 4-7: Diferencia entre caudales de COSAALT Ltda. y campo época seca

Nombre	Caudal Entrada	Caudal Salida	eficiencia
	(l/s)	(l/s)	(%)
COSAALT Ltda. seca	130,455	124,508	95,441
Medición de Campo	166,190	124,210	74,740
Diferencia de Caudal	35,735	-0,298	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-8: Diferencia entre caudales de COSAALT Ltda. y campo época húmeda

Nombre	Caudal Entrada	Caudal Salida	Eficiencia
	(l/s)	(l/s)	(%)
COSAALT Ltda.	358,457	293,963	82,008
Medición de campo	461,300	378,400	82,029
Diferencia de Caudal	102,843	84,437	

Fuente: Elaboración propia.

Una vez calculada la variación de caudales se sumarán a cada uno de los gastos medios mensuales para determinar los nuevos caudales ajustados y con esos valores poder calcular las eficiencias en la época húmeda y seca del canal:

Tabla 4-9: Caudales mensuales generados de entrada y salida del sistema

Año	Mes	Rincón de la Victoria		Sedimentador	
		Tirante Promedio (cm)	Caudal (l/s)	Tirante Promedio (cm)	Caudal (l/s)
2017	enero	86,484	467,352	76,306	398,415
	febrero	86,000	461,300	75,286	390,444
	marzo	86,065	462,252	73,500	375,781
	abril	86,933	472,462	79,117	421,143
	mayo	84,767	447,232	77,516	407,956
	junio	80,100	327,737	69,667	258,652
	julio	72,935	253,950	61,420	194,028
	agosto	67,484	203,729	56,484	156,893
	septiembre	64,767	180,575	54,693	143,844
	octubre	63,452	170,069	52,683	128,987
	noviembre	63,360	169,650	52,480	127,738
	diciembre	79,931	398,300	66,241	317,410
2018	enero	87,000	473,253	77,226	405,631
	febrero	87,0	473,253	80,071	429,302
	marzo	87,0	473,253	79,000	420,406
	abril	87,000	473,253	79,000	420,153
	mayo	84,710	446,209	75,226	385,941
	junio	77,200	296,858	67,500	241,726
	julio	70,903	234,697	60,161	184,402
	agosto	66,806	198,344	56,581	157,591
	septiembre	64,433	177,798	54,300	140,869
	octubre	63,903	173,734	53,733	136,752
	noviembre	67,200	205,694	57,833	168,169
	diciembre	85,194	453,360	76,548	399,803
promedio lluvia (l/s) =			458,457		397,699
promedio estiaje(l/s) =			216,070		169,971

Fuente: Elaboración propia.

- **Eficiencia de aducción en época estiaje o seca**

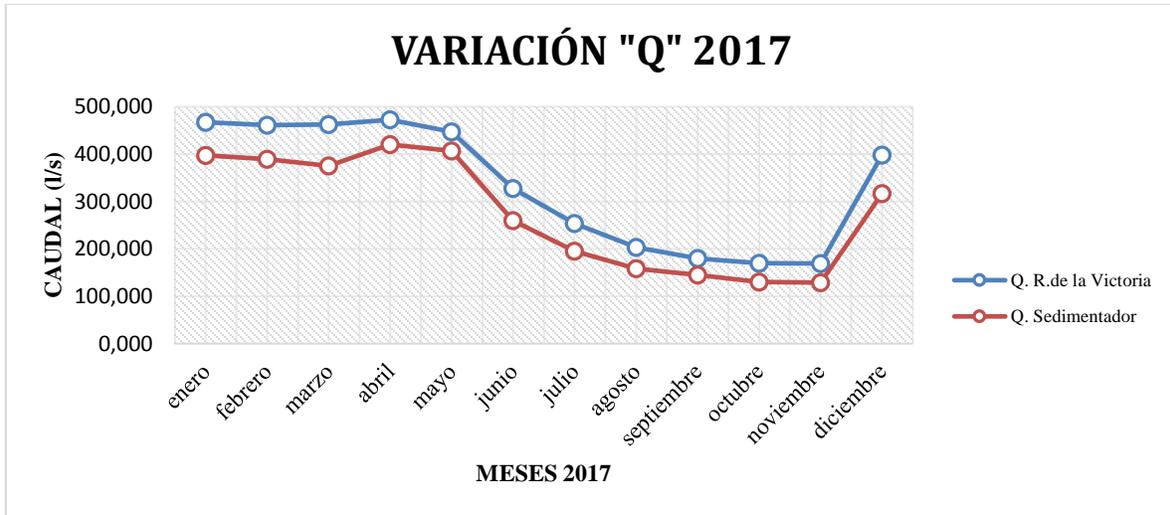
$$\text{Eficiencia de Aducción ajustada época seca (\%)} = \frac{169,971 * 100}{216,070} = 78.66\%$$

- **Eficiencia de aducción en época de lluvia o húmeda**

$$\text{Eficiencia de Aducción ajustada época húmeda (\%)} = \frac{397,699 * 100}{458,457} = 86,75\%$$

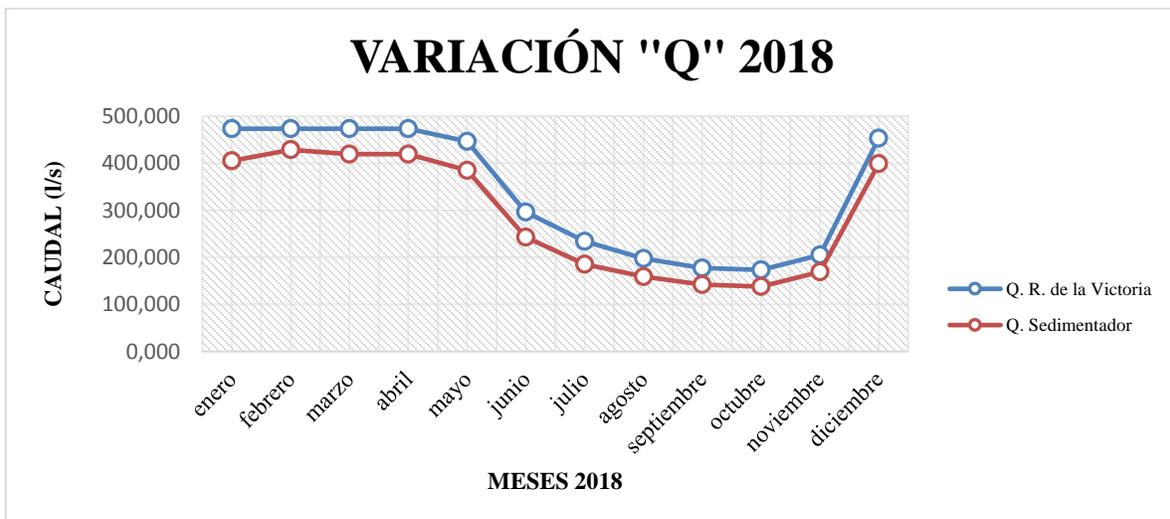
Después de determinar los caudales medios mensuales de las gestiones 2017 y 2018 se generaron graficas de cada año respectivamente para ver más claro el comportamiento de los caudales y la diferencia de los gastos medios mensuales registrados.

Figura 4-5: Variación de Caudales gestión 2017



Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT Ltda.

Figura 4-6: Variación de Caudales gestión 2018



Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT Ltda.

## **4.2. Determinación de las pérdidas aparentes**

Para la determinación de la eficiencia en la aducción del agua se debe hacer un análisis de las pérdidas aparentes las cuales son causadas por: inexactitudes del medidor de agua, errores en los manejos de los datos y cualquier forma de consumo no autorizado. Las pérdidas aparentes no deben subestimarse porque no generan ingreso por agua que ya ha sido producida, tratada, transportada y entregada al cliente.

Para este tipo de consumo se hizo un sondeo o medición de las conexiones tanto autorizadas como no autorizadas del canal, usando dos métodos de medición de caudales, el método volumétrico y un método más avanzado usando un flujómetro ultrasónico PCE-TDS 100H/HS dependiendo de la posición y manualidad de la instalación de los consumidores.

### **4.2.1. Medición de Caudales de Usuarios**

Se tiene la medición de caudales obtenidos con dos métodos; según el tipo de instalación de usuario se pudo medir el caudal por el método volumétrico o con el flujómetro ultrasónico.

#### **4.2.1.1. Aforo volumétrico y Aforo con flujómetro ultrasónico**

Fotografía 4.1: Puntos de aforo volumétrico



Fuente: Elaboración Propia

El caudal se obtiene por la relación entre el volumen recolectado en litros y el tiempo correspondiente en segundos:

$$Q = \frac{V}{T}$$

donde:

V: volumen

T: tiempo

Fotografía 4.2: Medición flujograma ultrasónico



Fuente: Elaboración Propia

El medidor de caudal PCE-TDS 100H/HS está diseñado para medir la velocidad de flujo en las tuberías. Los transductores / sensores funcionan sin contactos. Estos están expuestos a los conductos y no están sujetos a desgaste.

Calculados los caudales diarios se promediaron para determinar los caudales medios mensuales.

$$Q_{\text{mes.}} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n}{n}$$

Donde:

$Q_1, Q_2, Q_3, Q_n$  = Caudales diarios (l/s)

$Q_{mes}$  = Caudal mensual (l/s)

n= Número de caudal diarios

- Primera medición en fecha 6 de junio 2018

Tabla 4-10: Primera medición de pérdidas aparentes

<b>N° Conexión</b>	<b>Tipo de Medición</b>	<b>Diámetro (Pulg.)</b>	<b>Caudal Medio (l/s)</b>
1	Volumétrico	1/2	0,233
2	Ultrasónico	3/4	0,216
3	Ultrasónico	3/4	0,334
4	Ultrasónico	1/2	0,197
5	Volumétrico	1/2	0,151
6	Ultrasónico	1/2	0,000
7	Ultrasónico	1/2	0,182
8	Volumétrico	1/2	0,224
9	Volumétrico	1/2	0,000
10	Volumétrico	1/2	0,211
11	Ultrasónico	3/4	0,300
12	Ultrasónico	3/4	0,372
13	Ultrasónico	2	1,769
14	Volumétrico	1/2	0,036
15	Ultrasónico	3/4	0,127
16	Ultrasónico	3/4	0,338
17	Ultrasónico	1/2	0,101
18	Ultrasónico	1/2	0,210
19	Ultrasónico	3/4	0,254
20	Volumétrico	1/2	0,224
21	Ultrasónico	3/4	0,210
22	Ultrasónico	1/2	0,000
23	Ultrasónico	1/2	0,164
24	Ultrasónico	3/4	0,000
25	Ultrasónico	2	0,254

Fuente: Elaboración propia

- Segunda fecha 7 de junio 2018

Tabla 4-11: Segunda medición de pérdidas aparentes

<b>N° Conexión</b>	<b>Tipo de Medición</b>	<b>Diámetro (Pulg.)</b>	<b>Caudal Medio (m<sup>3</sup>/día)</b>
1	Volumétrico	1/2	0,225
2	Ultrasónico	3/4	0,215
3	Ultrasónico	3/4	0,327
4	Ultrasónico	1/2	0,000
5	Volumétrico	1/2	0,145
6	Ultrasónico	1/2	0,196
7	Ultrasónico	1/2	0,181
8	Volumétrico	1/2	0,262
9	Volumétrico	1/2	0,000
10	Volumétrico	1/2	0,214
11	Ultrasónico	3/4	0,318
12	Ultrasónico	3/4	0,375
13	Ultrasónico	2	1,799
14	Volumétrico	1/2	0,035
15	Ultrasónico	3/4	0,000
16	Ultrasónico	3/4	0,324
17	Ultrasónico	1/2	0,156
18	Ultrasónico	1/2	0,202
19	Ultrasónico	3/4	0,263
20	Volumétrico	1/2	0,248
21	Ultrasónico	3/4	0,203
22	Ultrasónico	1/2	0,154
23	Ultrasónico	1/2	0,153
24	Ultrasónico	3/4	0,000
25	Ultrasónico	2	0,259

Fuente: Elaboración propia

- Tercera fecha 8 de junio 2018

Tabla 4-12: Tercera medición de pérdidas aparentes

<b>N° Conexión</b>	<b>Tipo de Medición</b>	<b>Diámetro (Pulg.)</b>	<b>Caudal Medio (m<sup>3</sup>/día)</b>
1	Volumétrico	1/2	0,227
2	Ultrasónico	3/4	0,204
3	Ultrasónico	3/4	0,310
4	Ultrasónico	1/2	0,195
5	Volumétrico	1/2	0,164
6	Ultrasónico	1/2	0,203
7	Ultrasónico	1/2	0,186
8	Volumétrico	1/2	0,214
9	Volumétrico	1/2	0,000
10	Volumétrico	1/2	0,200
11	Ultrasónico	3/4	0,303
12	Ultrasónico	3/4	0,357
13	Ultrasónico	2	1,773
14	Volumétrico	1/2	0,031
15	Ultrasónico	3/4	0,000
16	Ultrasónico	3/4	0,352
17	Ultrasónico	1/2	0,956
18	Ultrasónico	1/2	0,234
19	Ultrasónico	3/4	0,245
20	Volumétrico	1/2	0,235
21	Ultrasónico	3/4	0,184
22	Ultrasónico	1/2	0,000
23	Ultrasónico	1/2	0,206
24	Ultrasónico	3/4	0,000
25	Ultrasónico	2	0,254

Fuente: Elaboración propia

Obtenidos los caudales instantáneos en cada punto de instalación de usuario, se hizo un sondeo adicional de dos puntos estratégicos con distintos diámetros uno con 2” y otro con 1/2” para determinar el comportamiento del flujo durante el día, esto con el fin de obtener el caudal promedio consumido por cada usuario.

Las mediciones de la variación del caudal las calcularemos para determinar el caudal promedio cada media hora.

$$Q_{\text{med.}} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n}{n}$$

Donde:

$Q_1, Q_2, Q_3, Q_n$  = Caudales instantáneo (l/s)

$Q_{\text{med}}$  = Caudal (l/s)

$n$  = Número de caudal instantáneos

Calculados los caudales que ocurre cada media hora con los resultados promedios se volverá a promediar un total para poder determinar el valor medio diario.

$$Q_{\text{med.}} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n}{n}$$

Donde:

$Q_1, Q_2, Q_3, Q_n$  = Caudales instantáneo (l/s)

$Q_{\text{med}}$  = Caudal (l/s)

$n$  = Número de caudales instantáneos

Fotografía 4.3: Mediciones con Flujómetro



Fuente: Elaboración propia

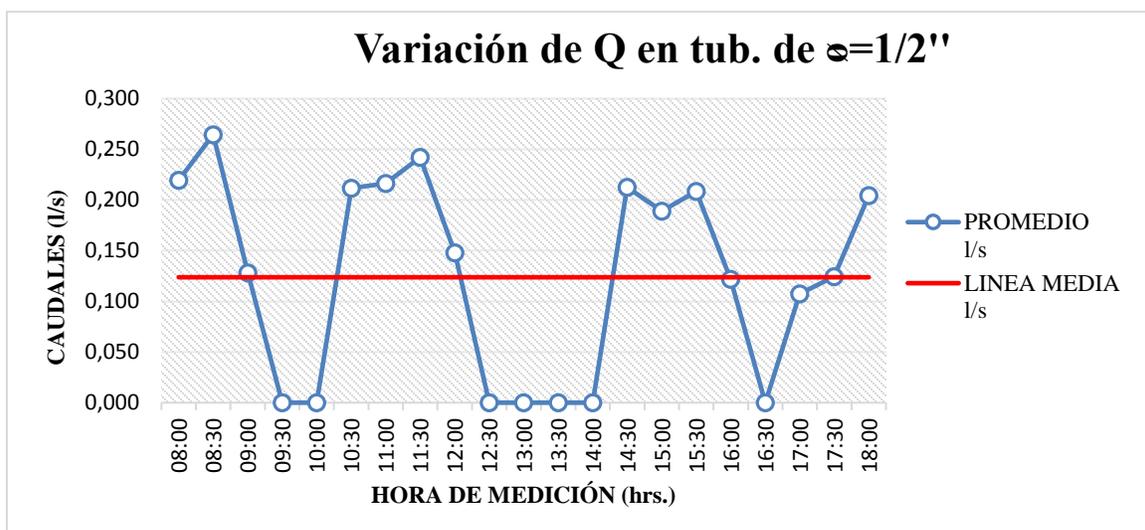
- Conexión N° 2  $\varnothing=1/2''$  09/06/18 – 10/06/18

Tabla 4-13: Caudales medidos cada 30 minutos

Hora	Caudales 09/06/18 (l/s)	Caudales 10/06/18 (l/s)	Promedio (l/s)	Línea Media (l/s)
08:00	0,203	0,236	0,220	0,124
08:30	0,275	0,254	0,265	
09:00	0,256	0	0,128	
09:30	0	0	0,000	
10:00	0	0	0,000	
10:30	0,223	0,2	0,212	
11:00	0,215	0,218	0,217	
11:30	0,218	0,266	0,242	
12:00	0,296	0	0,148	
12:30	0	0	0,000	
13:00	0	0	0,000	
13:30	0	0	0,000	
14:00	0	0	0,000	
14:30	0,135	0,29	0,213	
15:00	0,133	0,245	0,189	
15:30	0,154	0,263	0,209	
16:00	0	0,244	0,122	
16:30	0	0	0,000	
17:00	0,215	0	0,108	
17:30	0,249	0	0,125	
18:00	0,253	0,156	0,205	

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-7: Variación de Caudales 1/2"



Fuente: Elaboración propia

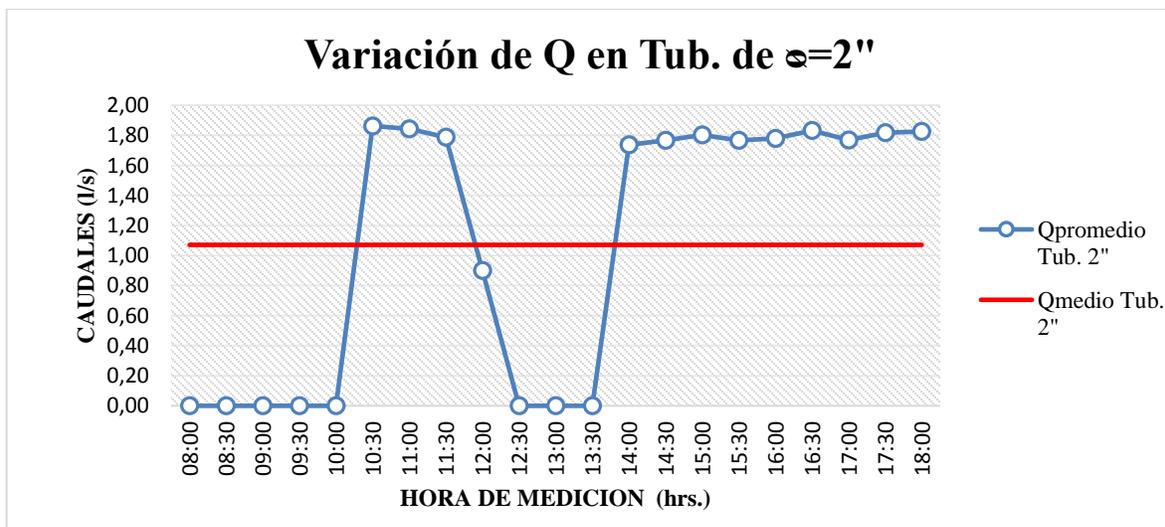
- Conexión N° 13  $\varnothing=2''$  (11/06/18 – 12/06/18)

Tabla 4-14: Caudales medidos cada 30 minutos

Hora	Caudales 11/06/18 (l/s)	Caudales 12/06/18 (l/s)	Promedio (l/s)	Línea Media (l/s)
08:00	0	0	0,00	1,071
08:30	0	0	0,00	
09:00	0	0	0,00	
09:30	0	0	0,00	
10:00	0	0	0,00	
10:30	1,89	1,835	1,86	
11:00	1,875	1,809	1,84	
11:30	1,778	1,798	1,79	
12:00	0	1,802	0,90	
12:30	0	0	0,00	
13:00	0	0	0,00	
13:30	0	0	0,00	
14:00	1,689	1,783	1,74	
14:30	1,778	1,756	1,77	
15:00	1,805	1,801	1,80	
15:30	1,765	1,766	1,77	
16:00	1,803	1,756	1,78	
16:30	1,865	1,8	1,83	
17:00	1,737	1,798	1,77	
17:30	1,823	1,813	1,82	
18:00	1,85	1,8	1,83	

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-8: Variación de Caudales 2"



Fuente: Elaboración propia

Al tener los datos de variación de caudales según el flujómetro se determina que la curva de variación del caudal no es constante, más al contrario por usos y costumbres utilizan el agua solo en horas estratégicas y se determina que hay horas al día en las que el consumo de agua es cero.

Obtenidos los caudales medios de consumo se ajustará cada uno para estimado gasto constante diario de pérdidas por instalaciones.

$$\text{Eficiencia de instalación (\%)} = \frac{\text{Qp. horario} * 100}{\text{Qinstantáneo}}$$

Donde:

Qp. horario= Caudal promedio horario (l/s)

Q. instantáneo= Caudal promedio instantáneo (l/s)

- **Eficiencia de la conexión N°2 tubería de 1/2”**

$$\text{Eficiencia de instalación (\%)} = \frac{0,124 * 100}{0,212} = 58.49\%$$

- **Eficiencia de la conexión N°13 tubería de 2”**

$$\text{Eficiencia de instalación (\%)} = \frac{1,071 * 100}{1,780} = 60.17\%$$

Determinadas las eficiencias de conexión en dos puntos estratégicos se multiplicará cada una de las conexiones para determinar gastos de mayor precisión tanto en la tubería 1/2” y 3/4” con la eficiencia de la conexión N°2 y las conexiones de diámetro 2” con la eficiencia de la conexión N°13.

El caudal de pérdidas será la sumatoria de los caudales ajustados de cada una de las conexiones tanto autorizadas como no autorizadas.

$$\text{Pérdidas Aparentes} = \sum Q_{\text{conexiones}}$$

Tabla 4-15: Caudales Ajustados (l/s)

N° Conexión	Tipo de Medición	Diámetro (Pulg.)	Caudal 06/062018 Medido (l/s)	Caudal 06/062018 Medido (l/s)	Caudal 06/062018 Medido (l/s)	Caudal Promedio (l/s)	Caudal Ajustado (l/s)
1	Volumétrico	1/2	0,233	0,225	0,227	0,228	0,134
2	Ultrasónico	3/4	0,216	0,215	0,204	0,212	0,124
3	Ultrasónico	3/4	0,334	0,327	0,310	0,324	0,189
4	Ultrasónico	1/2	0,197	0,000	0,195	0,131	0,076
5	Volumétrico	1/2	0,151	0,145	0,164	0,153	0,090
6	Ultrasónico	1/2	0,000	0,196	0,203	0,133	0,078
7	Ultrasónico	1/2	0,182	0,181	0,186	0,183	0,107
8	Volumétrico	1/2	0,224	0,262	0,214	0,233	0,136
9	Volumétrico	1/2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	Volumétrico	1/2	0,211	0,214	0,200	0,208	0,122
11	Ultrasónico	3/4	0,300	0,318	0,303	0,307	0,179
12	Ultrasónico	3/4	0,372	0,375	0,357	0,368	0,215
13	Ultrasónico	2	1,769	1,799	1,773	1,780	1,071
14	Volumétrico	1/2	0,036	0,035	0,031	0,034	0,020
15	Ultrasónico	3/4	0,127	0,000	0,000	0,042	0,025
16	Ultrasónico	3/4	0,338	0,324	0,352	0,338	0,198
17	Ultrasónico	1/2	0,101	0,156	0,956	0,404	0,236
18	Ultrasónico	1/2	0,210	0,202	0,234	0,215	0,126
19	Ultrasónico	3/4	0,254	0,263	0,245	0,254	0,149
20	Volumétrico	1/2	0,224	0,248	0,235	0,236	0,138
21	Ultrasónico	3/4	0,210	0,203	0,184	0,199	0,116
22	Ultrasónico	1/2	0,000	0,154	0,000	0,051	0,030
23	Ultrasónico	1/2	0,164	0,153	0,206	0,175	0,102
24	Ultrasónico	3/4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25	Ultrasónico	2	0,254	0,259	0,254	0,256	0,150
<b>Suma de Pérdidas Aparentes (l/s)</b>							<b>3,812</b>

Fuente: Elaboración propia

### 4.3. Determinación de las pérdidas por Evaporación

La evaporación es un proceso físico por el cual las moléculas superficiales de agua aumentan su nivel de agitación y escapan a la atmósfera. Depende de la Radiación solar, Temperatura del aire, Humedad atmosférica, Viento y Tamaño de la masa de agua. Las pérdidas por evaporación son menores comparadas con las pérdidas que se produce por infiltración en el canal de aducción ya que este está sellado y tapado casi en la totalidad de su trayecto.

Tomando en cuenta un parámetro extremo o crítico, es decir que el canal esté totalmente destapado y así su espejo de agua en su totalidad esté expuesto en su mayor magnitud a la evaporación.

### 4.4. Determinación de las pérdidas reales

Una vez determinados los valores de las pérdidas aparentes así también las pérdidas por evaporación y los caudales tanto de entrada como de salida tenemos todos los valores del balance hídrico excepto  $P_R$  (Pérdidas Reales).

$$Q_E = Q_S + P_R + P_A + P_E$$

Despejamos de la fórmula de balance hídrico planteada la pérdida real para determinar cuánto es lo que se pierde y el porcentaje de esta pérdida.

$$P_R = Q_E - Q_S + P_A + P_E$$

Donde:

$Q_E$ = Caudal de Entrada (l/s)

$Q_S$ = Caudal de Salida (l/s)

$P_R$ = Pérdidas Reales (l/s)

$P_A$ = Pérdidas Aparentes (l/s)

$P_E$ = Pérdidas por Evaporación (l/s)

Tomaremos los cuatro escenarios propuestos tanto los caudales promedios que nos proporciona COSAALT Ltda. y los generados con las mediciones de campo tanto en época de lluvia como estiaje.

#### 4.4.1. Caudales medidos COSAALT Ltda.

Tabla 4-16: Caudales de COSAALT Ltda. en época húmeda y seca

Nombre	Caudal Entrada	Caudal Salida	eficiencia
	(l/s)	(l/s)	(%)
COSAALT Ltda. época seca	180,335	170,269	94,418
COSAALT Ltda. época húmeda	355,613	313,262	88,091

Fuente: Elaboración propia

- **Pérdidas reales en época estiaje o seca**

$$P_R = 180,335 - 170,269 - 3,812 - 0.000$$

$$P_R = 6,254 \text{ l/s}$$

- **Pérdidas reales en época de lluvia o húmeda**

$$P_R = 355,613 - 313,262 - 3,812 - 0.000$$

$$P_R = 38.533 \text{ l/s}$$

#### 4.4.2. Caudales medidos en campo

Tabla 4-17: Caudales de campo en época húmeda y seca

Nombre	Caudal Entrada	Caudal Salida	Eficiencia
	(l/s)	(l/s)	(%)
Medición época seca	216,070	169,971	78,665
Medición época húmeda	458,457	397,699	86,747

Fuente: Elaboración propia

- **Pérdidas reales en época estiaje o seca**

$$P_R = 216,070 - 169,971 - 3,812 - 0.000$$

$$P_R = 42,287 \text{ l/s}$$

- **Pérdidas reales en época de lluvia o húmeda**

$$P_R = 458,457 - 397,699 - 3,812 - 0.000$$

$$P_R = 56,946 \text{ l/s}$$

#### 4.5. Cálculo de caudales por tramos de 500 m. Rincón de la Victoria

Después de analizar los resultados de pérdidas de caudal que se producen en el canal se llegó a la conclusión de que la mayor parte de caudal que pierde el sistema, se dan por pérdidas reales (caudales fugados por rotura y filtraciones en el trayecto del canal).

Es por eso que se hicieron dos mediciones de caudales en todo el trayecto cada 500 m. para determinar así los tramos más críticos y los que presentaban mayor cantidad de pérdidas de caudal, tener una mayor perspectiva del estado del canal.

##### 4.5.1.1. Cálculo del gasto por el método grafo analítico

Calcular las velocidades medias en cada una de las verticales por una de las fórmulas que aparecen a continuación, según el número de puntos que se hayan empleado para la medición.

$$V_{\text{med}} = \frac{V_{\text{sup}} + 3V_{0,2h} + 3V_{0,8h} + 2V_{\text{fondo}}}{10}$$

$$V_{\text{med}} = \frac{V_{0,2h} + 2V_{0,6h} + V_{0,8h}}{4}$$

$$V_{\text{med}} = \frac{V_{0,2h} + V_{0,8h}}{2}$$

En la práctica se dividió el ancho del canal en tres partes y en tres niveles de altura a 0.2h, 0.6h y 0.8h.

Fotografía 4.4: Aforo Cada 500 m.



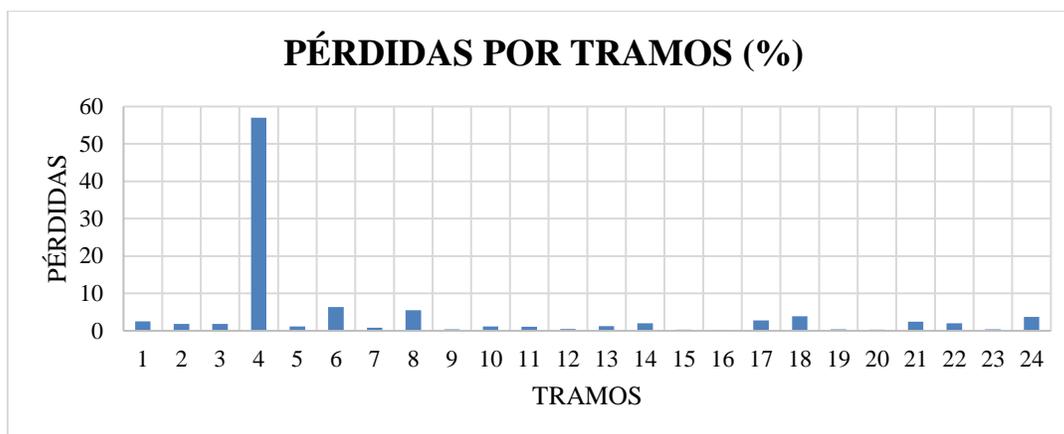
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-18: Datos de campo época de estiaje

Punto N°	Caudal		Pérdidas	
	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s)	(l/s)	%
1	0,166	166,19	-	-
2	0,165	165,14	1,05	2,501
3	0,164	164,37	0,77	1,834
4	0,164	163,61	0,76	1,81
5	0,14	139,69	23,92	56,98
6	0,139	139,21	0,48	1,143
7	0,137	136,53	2,68	6,384
8	0,136	136,2	0,33	0,786
9	0,134	133,88	2,32	5,526
10	0,134	133,72	0,16	0,381
11	0,133	133,23	0,49	1,167
12	0,133	132,79	0,44	1,048
13	0,133	132,59	0,2	0,476
14	0,132	132,06	0,53	1,263
15	0,131	131,21	0,85	2,025
16	0,131	131,09	0,12	0,286
17	0,131	130,98	0,11	0,262
18	0,13	129,8	1,18	2,811
19	0,128	128,15	1,65	3,93
20	0,128	127,97	0,18	0,429
21	0,128	127,84	0,13	0,31
22	0,127	126,8	1,04	2,477
23	0,126	125,95	0,85	2,025
24	0,126	125,77	0,18	0,429
25	0,124	124,21	1,56	3,716
Total			41,98	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-9: Pérdidas por tramos en (%)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-19: Medición de Caudales en época húmeda

Punto N°	Caudal		Pérdidas	
	(m3/s)	(l/s)	(l/s)	%
1	0,491	491,3	-	-
2	0,484	484,3	7	6,2
3	0,482	482,1	2,2	1,949
4	0,479	478,8	3,3	2,923
5	0,422	421,9	56,9	50,399
6	0,419	419	2,9	2,569
7	0,412	412,2	6,8	6,023
8	0,409	408,7	3,5	3,1
9	0,404	404,1	4,6	4,074
10	0,403	402,9	1,2	1,063
11	0,402	401,7	1,2	1,063
12	0,4	400,2	1,5	1,329
13	0,397	397	3,2	2,834
14	0,396	396,4	0,6	0,531
15	0,394	393,6	2,8	2,48
16	0,392	392	1,6	1,417
17	0,391	391	1	0,886
18	0,39	389,6	1,4	1,24
19	0,386	386,1	3,5	3,1
20	0,384	384,3	1,8	1,594
21	0,384	383,7	0,6	0,531
22	0,382	381,5	2,2	1,949
23	0,381	381,1	0,4	0,354
24	0,379	378,9	2,2	1,949
25	0,378	378,4	0,5	0,443
Total			112,9	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-10: Pérdidas por tramo en (%)



Fuente: Elaboración propia

La mayor pérdida que se da en el sistema de aducción está en el tramo 4 tanto en las mediciones de época de lluvia o húmeda y las mediciones hechas en la época de estiaje o seca pierde más del 50 % del total de pérdidas.

#### 4.6. Estudio económico de la eficiencia del sistema de aducción

Si analizamos la producción durante las últimas gestiones éstas varían, durante la gestión 2018 hubo una producción mayor a la de las 2 gestiones anteriores, revisar (ANEXO XI) de 17.896.946,86 m<sup>3</sup> teniendo una continuidad de servicio de horas promedio fueron de 19,97 horas.

Tabla 4-20: Producción de agua potable gestión 2018

Descripción	Caudales Producidos		Porcentaje %
	l/s	m3	
<b>Fuentes Superficiales</b>			
Rincón de la Victoria	253	7979566,64	45
Captación Las Tipas	68,23	1260219,6	7
<b>Fuentes Sub-Superficial</b>			
Galería del Río Erquis	55,9	1769365,76	10
<b>Fuentes Subterráneas</b>			
Pozos Profundos	189,87	6887794,86	38
<b>PRODUCCIÓN TOTAL</b>	<b>567</b>	<b>17896946,86</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT Ltda.

Tomaremos la producción de la gestión 2018 ya que es la de mayor caudal de los 3 últimos años y revisaremos y a esa producción de 567 l/s; para esto tenemos que ver los ingresos generados en esta gestión.

Tabla 4-21: Ingresos de la gestión 2018

<b>EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA DE INGRESOS</b>			
<b>Del 1ro. de enero al 31 de diciembre de 2018 (Expresado en Bolivianos)</b>			
<b>CÓDIGO FUENTE</b>	<b>PRESUPUESTO AJUSTADO</b>	<b>TOTAL, RECAUDADO</b>	<b>% RECAUDADO</b>
A. RECURSOS PROPIOS			
I. INGRESOS DE OPERACIÓN			
Ingresos Servicio de Agua P.	39.095.661	32.448.533	83
Ingresos Servicio de Alcantarillado S.	8.219.518	6.632.317	80,69
Ingresos Diversos	3.291.959	3.000.887	91,16
<b>Total, Ingresos de Operación</b>	<b>50.607.138</b>	<b>42.081.737</b>	<b>83</b>
II. DISMINUCIÓN DE OTROS ACTIVOS			
Disminución Caja y Bancos	12.292.263	-	-
Cuentas por Cobrar Servicios	8.260.105	6.133.518	74,25
<b>Total, Disminución de Otros Activos</b>	<b>20.552.368</b>	<b>6.133.518</b>	<b>29,84</b>
B. RECURSOS EXTERNOS			
Certificados de Aportación	406.080	343.591	84,61
Aporte Instituciones-Vecinos	50.000	24.453	48,91
Recursos Financieros	436.534	407.142	93,27
<b>Total, Recursos Externos</b>	<b>892.614</b>	<b>775.186</b>	<b>86,84</b>
<b>TOTAL, RECURSOS</b>	<b>72.052.120</b>	<b>48.990.441</b>	<b>67,99</b>

Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT.

Le sumaremos el promedio de las pérdidas de las dos épocas 53,428 l/s teniendo un total de 620.428 l/s. y veremos los nuevos ingresos generados por las pérdidas.

Tabla 4-22: Ingresos de servicios de agua potable gestión 2018

<b>INGRESOS SERVICIO DE AGUA POTABLE</b>			
<b>Del 1ro. de enero al 31 de diciembre de 2018 (Expresado en Bolivianos)</b>			
<b>Código Fuente</b>	<b>Caudal Producido (l/s)</b>	<b>Total, Recaudado (Bs.)</b>	<b>% Recaudado</b>
Ingresos sin pérdidas	567	32.448.533	83
Ingresos de pérdidas	53	3.057.602	83
<b>Ingresos más las pérdidas</b>	<b>620</b>	<b>35.506.135</b>	<b>83</b>

Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT Ltda.

Determinado los ingresos de ganancia por pérdidas recuperadas se analizará los egresos o gastos que se deberán generar para captar los más de 53 l/s que se están perdiendo en el canal; para esto se hizo un presupuesto de el mantenimiento que se deberá de hacer al canal para minimizar las pérdidas.

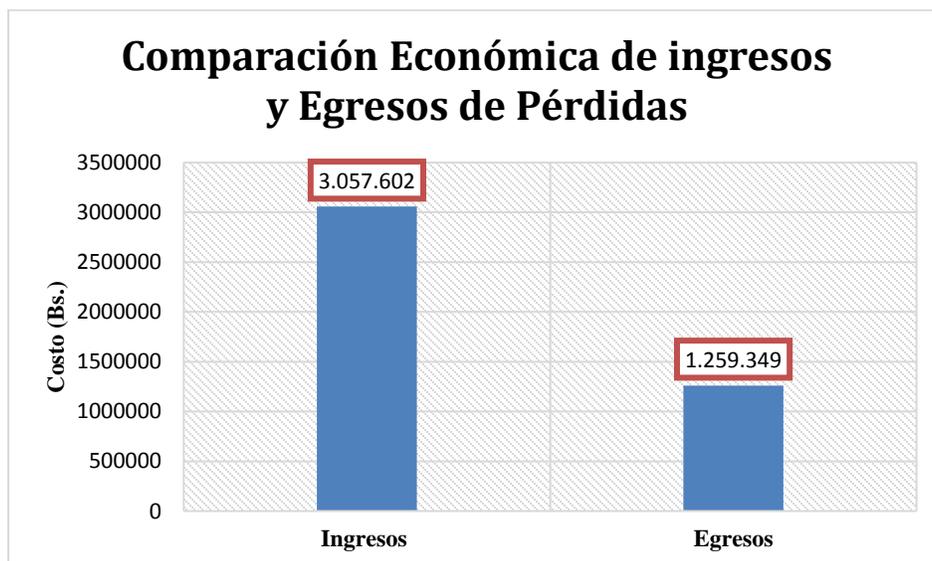
Tabla 4-23: Presupuesto general de mantenimiento

Descripción	Und.	Cantidad	P. Unitario	Parcial (Bs)
Prov. e Instalación Vertedero de Entrada	pza	1,00	920,53	920,53
Mantenimiento de Canal C/Pintura Epoxi	m <sup>2</sup>	30.628,00	35,68	1.092.657,70
Medidor de Agua y Caja (Ladrillo Gambo)	pza	25,00	744,95	18.623,85
Prov. y Tendido de Tubería FFD DN 400	m	300,00	224,93	67.480,32
Revoque Interior con Mortero de Cemento	m <sup>2</sup>	741,00	106,27	78.746,07
Prov. e Instalación Vertedero de Salida	pza	1,00	920,53	920,53
<b>Total, presupuesto:</b>				<b>1.259.349,00</b>

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los valores de los costos de ingreso y egreso generado por el caudal que se pierde se puede verificar que si hacemos un mantenimiento al sistema y captamos esa cantidad de agua perdida podremos tener un ingreso mayor a un millón de bolivianos.

Figura 4-11: Comparación económica de ingresos y egresos de pérdidas



Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO V

### 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1. Análisis de caudales y eficiencia del sistema de aducción

A pesar de que se cuenta con un registro diario de los caudales provenientes al inicio del sistema de aducción en el Rincón de La Victoria y otro control de mediciones a la llegada del pre-sedimentador, estos caudales son generados por curvas con las que cuenta la cooperativa COSAALT Ltda. Aunque existe cierta incertidumbre si son reales o no, para ver cuan verídicos son estos gastos se aforaron caudales en cada vertedero, en dos fechas puntuales una en época seca y otro en época húmeda, con un micro molinete proporcionado por el Laboratorio de Hidráulica de la facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S.). Junto con personal de la Cooperativa de Agua Potable COSAALT Ltda. obteniendo los siguientes resultados.

Nombre	Época Seca			
	Caudal Entrada	Caudal Salida	Diferencia de Caudal	Eficiencia
	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(%)
COSAALT Ltda.	180,335	170,269	10,066	94,418
Medición de Campo	216,070	169,971	46,099	78,665

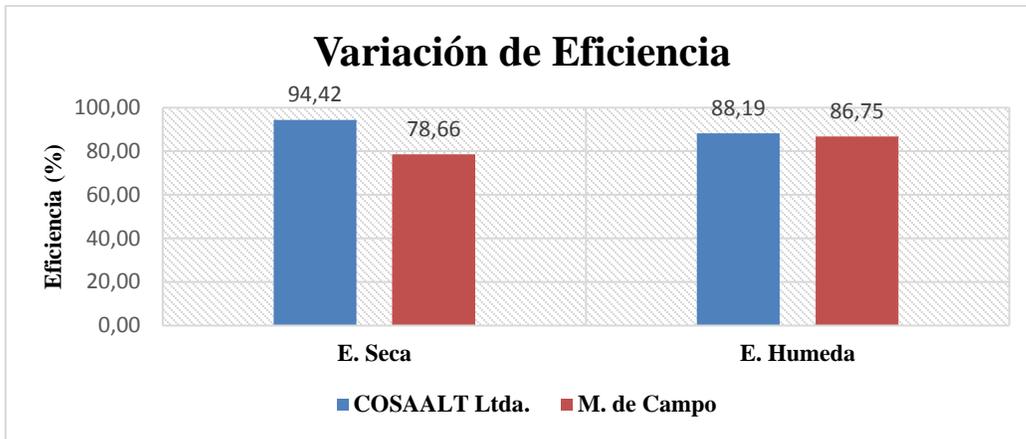
Nombre	Época Húmeda			
	Caudal Entrada	Caudal Salida	Diferencia de Caudal	Eficiencia
	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(%)
COSAALT Ltda.	355,517	313,537	41,980	88,192
Medición de Campo	458,457	397,699	60,758	86,747

Analizando y comparando el gasto medio generado por COSAALT Ltda., con los caudales aforados en campo de la época seca y los resultados obtenidos de mediciones realizadas en época húmeda, se ve una variación considerable entre la eficiencia que maneja COSAALT Ltda. con respecto a las eficiencias de las mediciones determinadas por los aforos de campo.

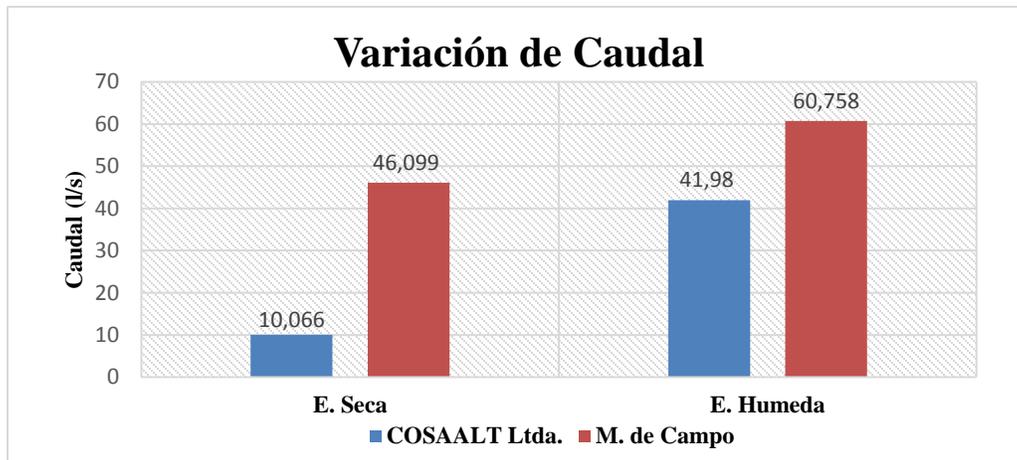
Observando específicamente la época seca, la eficiencia medida por la Cooperativa es de 94,42% con una diferencia de caudal de 10,064 l/s y la eficiencia determinada con la medición de campo 78,67% teniendo una variación del caudal de 46,099 l/s; hasta una variabilidad del 15,75% entre resultados de COSAALT Ltda. y las mediciones hechas en campo; A diferencia de la época seca en la época húmeda la eficiencia definida por COSAALT Ltda. es menor con un valor de 88,19% y un caudal de pérdida de 41.98 l/s pero el comportamiento de la eficiencia determinada en campo disminuye con respecto a la eficiencia de la época seca con un 86,75%, pero sí hay un aumento en variación de caudal 60,758 l/s.

analizando el comportamiento de la eficiencia del canal, según las mediciones de la Cooperativa esta varía de forma gradual ascendente lineal y esto es porque tomamos los caudales generados por ecuaciones que fueron calibradas hace más de 30 años y la variación de las pérdidas deberían de ser prácticamente nulas pero después de todo este tiempo tanto las estructuras de control, como el mismo cuerpo del sistema sufrieron cambios y no tuvieron un mantenimiento constante; se sabe también que la confiabilidad de la información generada por la entidad puede variar ya que solo tomamos valores de tirantes instantáneos con instrumentos rudimentarios (reglas metálicas de medición móvil); un último aspecto no menos importante es que los valores que se miden son exactamente en la misma hora y no se toma en cuenta la variación de tiempo que le toma al caudal en transcurrir de la entrada hasta la salida del sistema; estos aspectos importantes establecen una discrepancia al momento de determinar caudales por mediciones de tirantes ya que generan un valor de caudal distinto al medido tanto a la entrada como a la salida del sistema.

Al momento de analizar los valores de eficiencia obtenidos en campo se ve también que a pesar de que son datos obtenidos en la actualidad, hay factores que podría hacer que estos no sean exactos en su totalidad; se tendrá que ver que el instrumentó de medición (molinete) este calibrado correctamente, poder tener la mayor cantidad de caudales aforados en distintas fechas para obtener un valor de mayor veracidad; a pesar de estos aspectos son valores más confiables que las eficiencias y caudales calculados con las curvas de calibración entregadas por COSAALT Ltda.



Se observa la variación de eficiencia en las dos épocas del año; en temporada seca se verifica una gran diferencia entre los valores obtenidos por COSAALT Ltda. y la eficiencia de campo mayor a 15% a diferencia de los valores obtenidos en la época húmeda que solo disminuye en un 2%; esto genera discrepancias al momento de comparar o analizar los resultados.



Por esto se analizan los resultados viendo la variación del caudal y se determina que a pesar del cambio de las eficiencias el comportamiento de los caudales perdidos continúan siendo el mismo, aunque disminuya la cantidad de caudal en las mediciones de campo; esto podría darse porque el canal está funcionando a su máxima capacidad y las pérdidas reales máximas llegarían a ser 56,946 l/s ya que las pérdidas aparentes son constantes igual a 3,812 l/s.

## 5.2. Análisis de pérdidas registradas en el Sistema de Aducción

Para la determinación de pérdidas que se generan en el canal se realiza un balance hídrico en el cual se calcularon caudales estimados con la mayor precisión posible para establecer los porcentajes de cada uno de los tipos de pérdidas.

$$Q_E = Q_S + P_R + P_A + P_E$$

Donde:

$Q_E$ = Caudal de Entrada

$Q_S$ = Caudal de Salida

$P_R$ = Pérdidas Reales

$P_A$ = Pérdidas Aparentes

$P_E$ = Pérdidas por Evaporación

$$100 \% = 100 \%$$

Se determinó que el mayor porcentaje de pérdidas de agua que se genera en el sistema, son las pérdidas Reales con un porcentaje que puede llegar a variar desde los 6.254 l/s hasta una pérdida de 38.533 l/s en época húmeda según los registros de COSAALT Ltda. pero estas varían de manera distinta de las mediciones tomadas en campo con un valor en época de estiaje de 42,287 l/s y en época de lluvia alcanzando los 56,942 l/s; las pérdidas aparentes tienen un porcentaje menor producidas por las instalaciones de usuarios autorizados y no autorizados con 3,812 l/s y las que tienen menor incidencia son las pérdidas por evaporación con un 0.00 l/s a pesar de que se tomó el escenario más desfavorable son nulas al momento de comparar con otros tipos de pérdidas, porque en este tipo de sistemas no tiene incidencia, ya que son sistemas de transporte de agua abovedados o tapados.

## 5.3. Análisis del tramo más crítico del Sistema de Aducción

Después de haber determinado los porcentajes de pérdidas de agua en el sistema de aducción Rincón de la Victoria a desarenador zona Tabladita, analizaremos el comportamiento del caudal en los 12,400 km de longitud del sistema, para esto se aforó caudales cada 500 metros

teniendo un total de 24 tramos en todo el trayecto de aducción y se determinó la variación de pérdida en cada tramo.

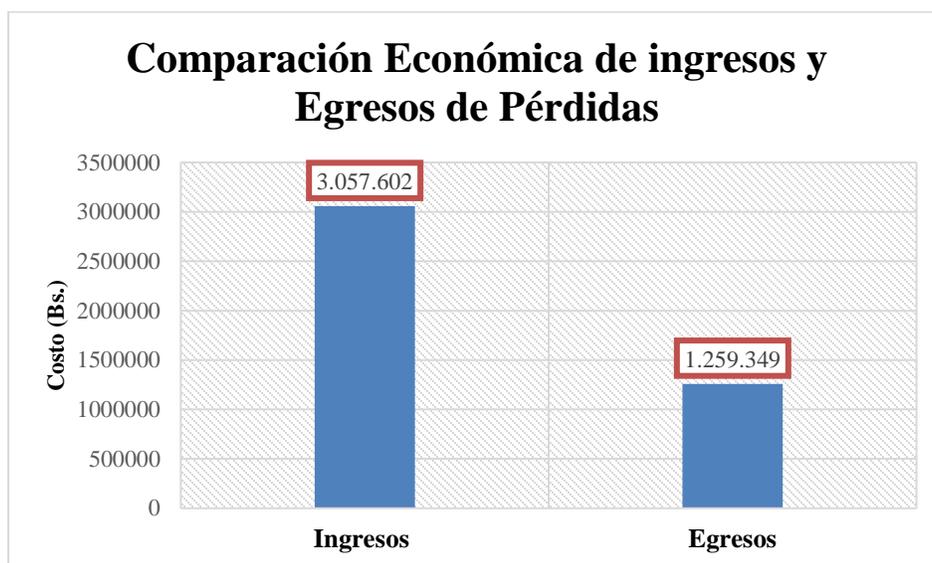


Las mediciones se realizaron en dos escenarios; uno en el mes de noviembre antes de la época de lluvias y otro en el mes de mayo después de la temporada de lluvias para ver cuánto variaba el caudal y las pérdidas según la época del año, pero los resultados obtenidos son muy similares ya que en las gráficas se ve que hay un tramo que se marca con mucha notoriedad el porcentaje de pérdida de agua que se genera en este tramo (TRAMO 4) con más del 50 % de pérdidas medidas solo en su tramo.

Se determinó que el tramo más crítico (TRAMO 4), cuenta con una pérdida considerable y esto se debe a la falta de mantenimiento de este trayecto ya que es el único tramo que se construyó como ducto y no se realizó una refacción desde el año 1989.

#### 5.4. Análisis comparativo de costos de pérdidas

Se determinan los costos de ingreso que se generan al comercializar el caudal medio de pérdidas registradas igual a 53.428 l/s y se compara con el costo de egresos obtenidos por el mantenimiento al sistema de aducción.



Si analizan cuidadosamente los valores tenemos que el ingreso por las ventas de 53,428 l/s es de 3.057.602 Bs y el costo que se generará para poder captar ese caudal será tan solo de 1.259.349 Bs. Entonces tenemos una ganancia de 1.798.253 Bs. Es por esto que es recomendable hacer un mantenimiento al sistema de aducción lo más antes posible.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Analizando el diagnóstico y eficiencia del sistema de aducción de agua potable que inicia en la comunidad del Rincón de La Victoria hasta la desarenador en el barrio Tabladita se establece las siguientes conclusiones:

- ✓ La eficiencia del canal de aducción no es aceptable, teniendo un porcentaje de pérdidas de 21.34 % debido a conexiones erradas y principalmente por el deterioro del canal en algunos puntos específicos.
- ✓ El diagnóstico del sistema de aducción nos permitió identificar puntos críticos de pérdidas por infiltración en puntos estratégicos como en el tramo del ducto subterráneo del sistema, también se identificaron pérdidas por mal funcionamiento de vertederos; dichas pérdidas superan el 20% de la conducción diaria del sistema con un caudal mayor a 60 l/s.
- ✓ La determinación de pérdidas aparentes específicamente de siete conexiones no autorizadas y dieciocho autorizadas por la cooperativa COSAALT Ltda. las cuales no están facturando el consumo de agua que extraen del canal.
- ✓ Las pérdidas aparentes generadas en el sistema por las conexiones de usuarios son de 3,812 l/s a pesar de tener una incidencia baja en comparación con las pérdidas reales, este valor es elevado para solo 25 conexiones; esto se debe a que el consumo no solo es para uso doméstico sino también para consumo de sus animales y el cultivo de sus huertos.
- ✓ El mantenimiento del canal es una actividad que no se toma en cuenta por la Cooperativa y con el análisis respectivo se vio que estructuras que la constituyen están desgastadas en especial los vertederos o medidores de flujo.

## Recomendaciones

Para mejorar la eficiencia de cada uno de los componentes del sistema de aducción se proponen las siguientes recomendaciones:

- ✓ Se deberá realizar un control en toda su longitud y verificar los puntos donde el agua se está perdiendo por infiltración o por conexiones erradas.
- ✓ Después de haber revisado la bibliografía y de conocer el funcionamiento de un sistema de aducción por gravedad se determinó que el análisis de pérdidas en sistemas de gravedad es muy complejo y se deben manejar muchos parámetros como épocas de lluvia variación de caudales y el aspecto socioeconómico.
- ✓ Realizar el mantenimiento del canal en forma frecuente de tal manera que se minimicen pérdidas por infiltración.
- ✓ Buscar alternativas de solución al problema de conexiones erradas que realiza la gente a lo largo del canal de aducción esto podría ser un implemento de medidores de caudal en cada conexión para así poder facturar exactamente la cantidad de agua consumida por cada beneficiario.
- ✓ Se propone mejorar y hacer un mantenimiento continuo al vertedero además de implementar una escala o regleta en la sección transversal del canal para poder tener un mejor control tanto del caudal de ingreso como en el de salida al sistema de aducción.
- ✓ Después de treinta años de uso continuo y sin mantenimiento estas estructuras sufrieron modificaciones y las curvas de calibración en los dos puntos de control deberán ser recalibradas con datos de caudales lo más exactos posibles.
- ✓ Se debe hacer un recorrido más frecuente del canal para identificar los puntos más críticos donde existe pérdida y solucionar de manera inmediata.

- ✓ Realizar una limpieza general del canal de aducción, debido a la existencia de algas lama y material granular que ingresó y quedó sedimentado en su trayecto en el interior del mismo.
- ✓ Para optimizar el recurso agua y evitar pérdidas en el trayecto se debe cambiar de hormigón ciclópeo a tubería en algunos tramos.
- ✓ Capacitación a los operadores y personal encargado del control de tirantes que se efectúa en el desarenador de Tabladita.
- ✓ Limpieza periódica de los materiales depositados antes del vertedero.
- ✓ Se propone hacer un análisis del tramo 4 donde se encuentra el ducto subterráneo para determinar cuánto es el caudal exacto perdido en los casi 300 m. de tramo.